

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська дипломна робота на тему:

«РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ
СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ»

Виконав: студент 4 курсу, гр. 1ЕМ-206
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Богдан ІСКРА
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК

Валентин ГРАБКО

(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«28» 05 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ЕРЕЕМ

Олексій БАБЕНКО

(прізвище та ініціали)

«10» 06 2024 р.

Допущено до захисту

зав. кафедри КЕМСК

«28» 05 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Освітньо-професійна програма «Електромеханіка»

“H” 03 2021 року

(прізвище, ім'я, по батькові)

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Теоретичні основи розробки системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії; Види сонячних електростанцій; Аналіз існуючих системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії; Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування сонячною електричною станцією; Порівняння вартості та функцій пристроїв системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового

експорту електроенергії; Аналіз споживання підприємства; Розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst; Вибір обладнання сонячної електричної станції з точки зору нульового експорту електроенергії; Розробка схеми системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії; Генеральний план розташування сонячної електричної станції. Висновок.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Гرابко В.В.	11.03.24	28.05.24
Охорона праці	Зав. каф. БЖДІБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	11.03.24	28.05.24

7. Дата видачі завдання

11.03.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примі
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	11.03.2024	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	21.05.2024	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	28.05.2024	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	28.05.2024	
5	Попередній захист БДР	28.05.2024	
6	Нормоконтроль БДР	28.05.2024	
7	Рецензування БДР	10.06.2024	
8	Захист БДР	11.06.2024	

Студент

(підпис)

Іскра Б.І.
(прізвище та ініці)

Керівник роботи

(підпис)

Гرابко В.В.
(прізвище та ініці)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 82 сторінок формату А4, на яких є 30 рисунків, 18 таблиць, список використаних джерел містить 33 найменувань.

Метою бакалаврської дипломної роботи полягає в розробці та впровадженні системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії для забезпечення стабільності електропостачання підприємств, підвищення ефективності та оптимізації використання максимального ресурсу сонячної генерації, а також сприяння енергетичній безпеці підприємств.

У роботі розглянуто теоретичні основи таких систем, включаючи розвиток сонячної енергетики в Україні, різновиди сонячних електростанцій, тарифи на електроенергію та функції систем керування сонячною електростанцією з точкою нульового експорту.

Проаналізовано існуючі системи керування сонячними електростанціями. Вивчено їхні принципи роботи, характеристики, проведено огляд та визначено критерії вибору.

Надано техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування. Розглянуто засоби сприяння виробництву електроенергії з відновлюваних джерел в Україні, капітальні витрати на встановлення СЕС та порівняно вартість обладнання.

Описано процес вибору обладнання для системи керування. Проведено аналіз споживання підприємства, розрахунок очікуваної генерації електроенергії, вибрано фотоелектричні модулі, інвертори та пристрої керування.

Розглянуто питання охорони праці, включаючи технічні рішення для безпечної експлуатації об'єкта, електробезпеку, гігієну праці та виробничу санітарію, пожежну безпеку та інші аспекти.

Ключові слова: сонячна електростанція, точка нульового експорту, система керування, енергетична безпека, алгоритм керування, прогнозування навантаження, економія електроенергії.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 82 A4 pages, which includes 30 figures, 18 tables and a list of 33 references.

The purpose of the bachelor's thesis is to develop and implement a control system for a solar power plant with a zero-export point to ensure the stability of electricity supply to enterprises, increase efficiency and optimize the use of the maximum solar generation resource, and promote energy security of enterprises.

The paper discusses the theoretical foundations of such systems, including the development of solar energy in Ukraine, types of solar power plants, electricity tariffs, and functions of control systems for a solar power plant with a zero export point.

Existing solar power plant control systems are analyzed. Their operating principles and characteristics are studied, a review is conducted, and selection criteria are determined.

A feasibility study for the implementation of the control system is presented. The means of promoting the production of electricity from renewable sources in Ukraine, the capital costs of installing a solar power plant, and the cost of equipment are considered.

The process of selecting equipment for the control system is described. The company's consumption is analyzed, the expected electricity generation is calculated, and photovoltaic modules, inverters, and control devices are selected.

Occupational health and safety issues are considered, including technical solutions for safe operation of the facility, electrical safety, occupational health and safety, fire safety, and other aspects.

Key words: solar power plant, zero export point, control system, energy security, control algorithm, load forecasting, electricity saving.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	9
1.1 Розвиток сонячної енергетики в Україні.....	9
1.2 Види сонячних електростанцій	13
1.3 Тарифи на електроенергію для промислових споживачів	17
1.4 Функції системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту	18
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	21
2.1 Принцип роботи та дослідження характеристик системи керування	21
2.2 Огляд існуючих систем керування	23
2.3 Аналіз критеріїв вибору системи керування	37
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	40
3.1 Основні засоби сприяння виробництву електроенергії з відновлюваних джерел в Україні.....	40
3.2 Капітальні витрати на встановлення СЕС	48
3.3 Порівняння вартості обладнання для системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.	49
4 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.	56
4.1 Аналіз споживання підприємства.....	56
4.2 Розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst.	61

4.3 Вибір фотоелектричних модулів	67
4.4 Вибір інвертора	70
4.5 Вибір пристроїв керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.....	77
5 РОЗРОБКА СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ.....	83
5.1 Розробка схеми підключення та система керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.	83
5.2 Алгоритм керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.	86
6 Охорона праці.....	89
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	89
6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час оперативного обслуговування електроустановок	89
6.1.2 Електробезпека	92
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	93
6.2.1 Мікроклімат	93
6.2.2 Склад повітря робочої зони	94
6.2.3 Виробниче освітлення	95
6.2.4 Виробничий шум	96
6.2.5 Виробнича вібрація	97
6.3 Пожежна безпека.....	98
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
ДОДАТКИ.....	108
ДОДАТОК А (обов'язковий) Технічне завдання.....	108
ДОДАТОК Б Графічна частина.....	113
ДОДАТОК В Протокол перевірки дипломної роботи на наявність текстових запозичень	130

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ФЕС – фотовольтаїчна електрична станція;

СЕС – сонячна електростанція;

ВДЕ – відновлювані джерела електроенергії;

ФЕМ – фотоелектричний модуль;

СНЕ - система накопичування електроенергії;

ЕМ – електрична мережа;

ЛЕП – лінія електропередачі;

ROI – коефіцієнт рентабельності інвестицій;

АС – змінний струм;

DC – постійний струм.

ВСТУП

Актуальність теми. Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії є актуальною проблемою, яка набуває все більшого значення в контексті поступового переходу до використання відновлюваних джерел енергії. У зв'язку зі зростанням світового попиту на енергію та потребою зменшення викидів шкідливих речовин, сонячна енергія стає привабливим варіантом для електрогенерації. В Україні є великий попит та можливості для встановлення сонячної енергетики. Вона стає все більш зацікавленим учасником на цьому ринку. Особливу увагу актуальність до відновлювальних джерел енергії показала енергетична війна. Війна призвела до значних руйнувань енергетичної інфраструктури України, що спричинило перебої з постачанням електроенергії. Об'єкти альтернативної енергетики є відносно невеликі в масштабах, але вони розповсюджені по всій території України та часто максимально наближені до споживачів. Тому реалізація систем керування СЕС з урахуванням нульового експорту електроенергії сприяє зменшенню залежності від централізованої енергосистеми України, підвищити енергобезпеку підприємств та економити кошти на електроенергії.

Враховуючи вище сказані можливості розвиток сонячної енергетики у країні є певні обмеження рядом технічних, економічних та організаційних проблем. Однією із проблем сонячної енергетики є непостійністю та нерівномірністю виробництва сонячної електроенергії, а також з нерівномірністю споживання цієї енергії підприємством. Можливе перевищення виробництва електроенергії над споживанням та, відповідно, негативно впливати на енергетичну систему країни. Таким чином, розробка системи керування СЕС з точкою нульового експорту електроенергії стає необхідною для забезпечення стабільності електропостачання та збереження балансу між виробництвом та споживанням енергії.

Доцільність дипломної роботи в цій галузі виявляється через потребу у розв'язанні актуальних проблем енергетики, що стають все більш важливими в контексті розвитку суспільства та збереження навколишнього середовища. Вивчення та впровадження систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульовим експортом електроенергії має великий потенціал для вдосконалення енергетичної системи України, сприяючи енергетичній ефективності та сталому розвитку країни. Ці системи дозволять автоматизувати процеси регулювання виробництвом електроенергії в залежності від поточних умов, таких як погода, поточне споживання електроенергії підприємства та ставати більш конкурентоспроможним за рахунок ефективної та оптимізованої системи керування.

Об'єктом дослідження виступає системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Предметом дослідження є розробка та впровадження систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Мета дослідження. Метою роботи полягає в розробці та впровадженні системи керування сонячною електростанцією з точкою нульового експорту електроенергії для забезпечення стабільності електропостачання підприємств, підвищення ефективності та оптимізації використання максимального ресурсу сонячної генерації, а також сприяння енергетичній безпеці підприємств.

Завдання дослідження. Поставлена мета обумовлена необхідністю вирішити наступні завдання:

- Провести аналіз теоретичних основ розробки системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії;
- Здійснити аналіз існуючих систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії;

- Проведення техніко-економічних обґрунтування впровадженню таких систем керування;
- Здійснити вибір обладнання для впровадження таких систем;
- Розробка схеми та впровадження сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Методи дослідження. У процесі написання роботи використовувалися методи аналізу для вивчення принципів роботи та дослідження існуючих систем керування сонячною електричною станцією, технічна документація та нормативні документи з питань сонячної енергетики. Також було застосовано порівняльний аналіз різних системи керування СЕС з точки зору їх функціональних можливостей, переваг та недоліків. Для проведення економічного дослідження, а саме збору та обробки інформації, аналітичної роботи, розрахунків, обґрунтування прогнозування ефективності генерації електроенергії сонячними електростанціями за допомогою алгоритмів, таких як той, що використовується у програмі PVsyst.

Отже, у процесі дослідження використовувалися різноманітні методи, які дозволили здійснити аналіз існуючих систем керування, провести економічне обґрунтування та здійснити розрахунки та прогнози.

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)».

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії / Б.І. Іскра, О.А. Паянок, В.В. Грабко – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. URL:.. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 3 с.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

1.1 Розвиток сонячної енергетики в Україні

Сонячна енергетика України — відносно нова галузь електроенергетики України, яка стрімко розвивається. Станом кінець 2020 року встановлено СЕС загальною номінальною потужністю 6320 МВт без урахування близько 407,9 МВт потужностей, які перебувають на окупованій території. Частка СЕС на перший квартал 2021 року загальній генерації України складає близько 6 %[1]. На рисунку 1.1 зображено частку виробництва електроенергії в Україні за різними видами генерації.

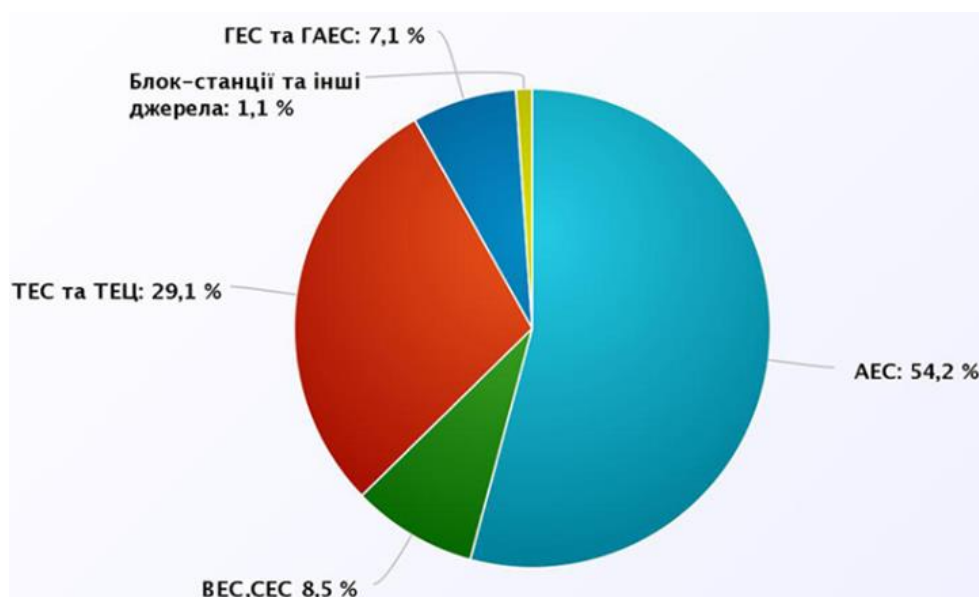


Рисунок 1.1 – Структура виробництва електроенергії в Україні

На діаграмі можемо побачити як кожен тип електростанцій – теплові, гідроелектростанції, атомні електростанції, а також відновлювані джерела енергії, такі як сонячні та вітрові електростанції – робить свій внесок у загальну електроенергетичну структуру країни.

В Україні річне надходження сонячного випромінювання перебуває на одному рівні з країнами, які активно використовують сьогодні сонячні колектори (Швеція, Німеччина, США тощо).

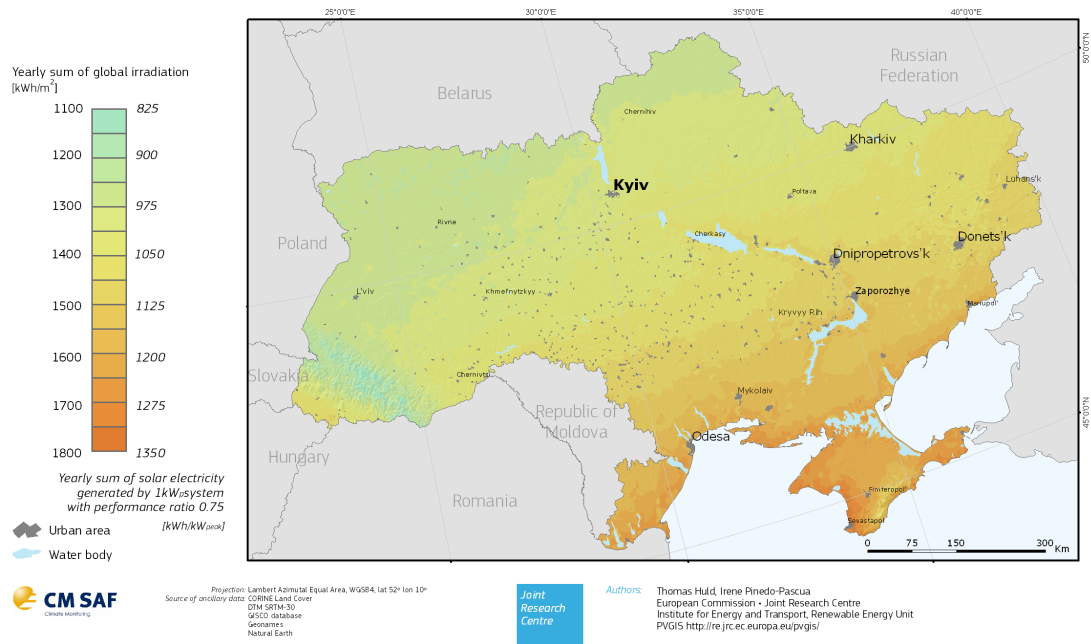


Рисунок 1.1 –Карта сонячної активності України

Розвиток сонячної енергетики в Україні є одним із ключовим напрямком у виробництві електроенергії. Враховуючи географічне положення та кліматичні умови Україна має перспективу динамічному зростанні в цій галузі, що і відбувається протягом останніх років та демонструється високий темп розвитку.

Також з 2008 року в країні є державна підтримка, що стимулює стимулюванню сприятливого інвестиційного клімату. Було впроваджено систему «Зелених тарифів» для збільшення загальної частки СЕС в енергосистемі. За допомогою цієї системи було спрощено видачу ліцензій та дозволів на будівництво сонячних електростанцій, а також з цим було визначено ряд державних програм та грантів на підтримку зростання сонячних проєктів.

За останні роки в Україні значно зросла кількість сонячних

електростанцій. За роки впровадження таких станцій також стрімко проводиться модернізація та розширення існуючої інфраструктури, як для передачі та зберігання сонячної електроенергії.

Розвиток сонячної енергетики в Україні має низку переваг:

Екологічність. Сонячні електростанції є повністю безпечними для людей та навколишнього середовища. Вони є чистим видом джерелом енергії також вони не утворюють викиди шкідливих речовин в атмосферу та викиди парникових газів у порівнянні з традиційними джерелами енергії.

Відновлюваність. Сонячна енергія є відновлюваною та не вичерпною. Крім того, розглядаючи факт про переробку, фотоелектричні модулі (ФЕМ) є одним із основних елементів сонячної електростанції. Матеріали, з яких вони виготовлені, можуть піддавати для повторній переробці або для подальшого ремонту пошкоджених панелей.

Розвиток робочих місць та розвиток технологій. Багато компаній та країн світу бачать для себе перспективу для розвитку сонячної енергетики. Тому це сприяє для інвестування та дослідження нових технологій для цієї галузі, що в свою чергу стимулює до утворення нових робочих місць. Це може позитивно впливати як для економіки країн так і для розвитку сфери. Впровадження нових технологій, методів та розробка ефективних систем матиме в собі довгострокові перспективи для сприятиме економічному зростанню країн.

Енергонезалежність. Розвиток у розвитку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) є чинником до зменшення залежності від викопних паливних ресурсів.

Енергетична безпека. Говорячи про перспективи розвитку та стимулу для пришвидшення розвитку ВДЕ слід зауважити важливу роль у забезпеченні енергетичної безпеки та особливу актуальність для розвитку цієї галузі в Україні. Під час війни через загрозу перебоїв постачання енергії через руйнування енергетично інфраструктури, що в свої чергу обмежує

доступ до традиційних джерел енергії. Зокрема сонячна енергетика може сприяти незалежності від імпорту енергоресурсів, адже сонячна енергія працює на місці і неподалік від споживачів електроенергії та може певною мірою замінити частку енергоресурсів. Також сонячні електростанції забезпечують резервне живлення у випадку перерв у живленні з традиційних джерел енергію, або можуть використовуватися для балансування в енергосистемі. Розгортання таких станцій дозволяє створити децентралізовані енергетичні системи на місцевому рівні, що в свою чергу допомагає у загальних відключеннях електроенергії.

Простота експлуатації. Сонячні електростанції не потребують великих затрат коштів для обслуговування роботи станції існують системи, які можуть автоматично керувати роботою станції та в режимі реального часу повідомляти про стан роботи обладнання та кількості виробництва електроенергії.

Основними викликами для розвитку цієї галузі в Україні є:

Висока первісна вартість будівництва СЕС. На початковому етапі інвестицій СЕС потребує значних коштів для побудови сонячної електростанції.

Нерегулярність процесу виробництва електроенергії. Робота сонячних електростанцій має залежність від часу доби та погодних умов. Адже особливістю роботи СЕС є тим, що виробництво електроенергії відбувається лише в день та змінюється протягом світлої пори доби.

Необхідний розвиток систем накопичення електроенергії (СНЕ). Встановлення таких систем забезпечить можливість як для маневрів для балансування електроенергії та і для забезпечення безперебійного живлення електроенергії, але на разі ці системи є досить дорогими. Системи накопичування електроенергії потребують розвитку технологій для здешевлення матеріалів з яких виготовляються ці установки.

Незважаючи на всі виклики та проблеми сфера є досить перспективною

для розвитку сонячної енергетики та в цілому енергосистеми України сприятливою. Україна зацікавлена в розвитку цієї сфери, про це свідчать чіткі кроки для розвитку СЕС. Варто зазначити, що у червні 2023 року було ухвалено Закон про "зелену" трансформацію енергосистеми, розроблений за пропозиціями Міненерго, який передбачає впровадження реєстру гарантій походження електричної енергії, виробленої з ВДЕ, запровадження системи чистого вимірювання net billing, підвищення гнучкості аукціонної моделі підтримки виробництва електроенергії з ВДЕ та інші прогресивні нововведення[2].

1.2 Види сонячних електростанцій

Розглядаючи різні види сонячних електростанцій слід визначитися з метою та її застосуванням. Існують три типи сонячних електростанцій, вони залежать від їх підключення та роботою з мережею також із використання з системами накопичування:

Мережева сонячна електростанція - це такий тип системи, у якій відсутні системи накопичування електроенергії. Робота такої електростанції полягає у взаємодії з електричною мережею. Під час відключення електроенергії мережеві станції не можуть працювати з причин безпеки. Ця система є найпоширенішим та є найбільш економічним типом СЕС. Вся надлишкова електроенергія, що генерує СЕС може продаватися в мережу за «зеленим тарифом» або ж використання власником суто на забезпечення власним потреб з застосуванням обмежувальних пристроїв, що запобігають відпуску надлишкової енергії в мережу. Проте слід звернути увагу, що для продажу електроенергії в мережу потрібна ліцензія на продаж. Структуру мережевої станції можна побачити на рисунку 1.2.

Перевагою такої системи буде найнижча вартість, адже не потребує встановлення акумуляторних систем. Зниження рахунків за електроенергію, адже виробництво електроенергії сонячною електростанцією буде забезпечувати компенсацію та покриття споживання на власні потреби.

Також, у разі продажу надлишкової електроенергії в мережу за "зеленим тарифом", можна отримати додатковий дохід.

Недоліком такої системи слід визначити це залежність від електромережі, адже у випадку перебоїв в електропостачанні мережева СЕС не зможе забезпечити резервне живлення. Крім того, вартість тарифів «зеленого» тарифу поступово знижується, що може робити інвестицію в такий тип станції менш вигідним.

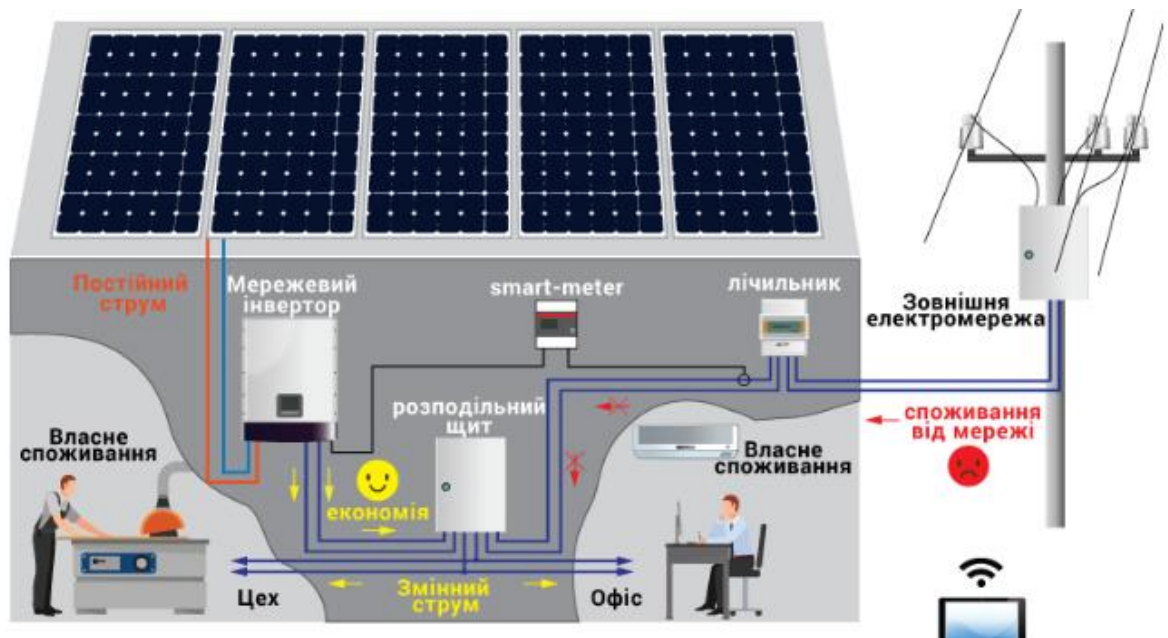


Рисунок 1.2 – Структура мережевої електростанції.

Гібридна сонячна електростанція – це такий тип системи, який працює як і мережею так і з система акумулювання енергії. У випадку відключення живлення зовнішньої мережі гібридний інвертор здатний автоматично відключатися від мережі та продовжувати працювати для забезпечення власних потребу будинку або не великого підприємства певний час в залежності від встановленої системи зберігання електроенергії, встановленої на об'єкті. У разі перевищення потреб у споживанні електроенергії над виробництвом від сонячних панелей буде проводитися зарядка акумуляторів. Такі системи також можуть співпрацювати з

генератором та автоматично керувати його роботою. Структурну схему компонентів гібридної станції можна побачити на рисунку 1.3.

Перевагою такої системи є незалежність від електромережі так як є можливість працювати в умовах відключення зовнішньої мережі. Також ця система є ефективною з точки зору використання сонячної енергії, адже здатна накопичувати в пристрої зберігання електроенергії у період низького споживання. Крім того можлива система роботи у паралельній роботі з генератором для забезпечення власних потреб і можливий автоматичний його запуск.

Недоліками системи є вартість такої системи, адже порівняно з мережевою станцією вартість гібридної системи зростає за рахунок використання систем накопичення та додаткових можливостей інвертора. Крім того збільшується складність управління системою та потребує навик та знань для налагоджування та обслуговування системи. До значного недоліку такої системи є обмежений обсяг зберігання енергії, які також піддаються зносу з часом.

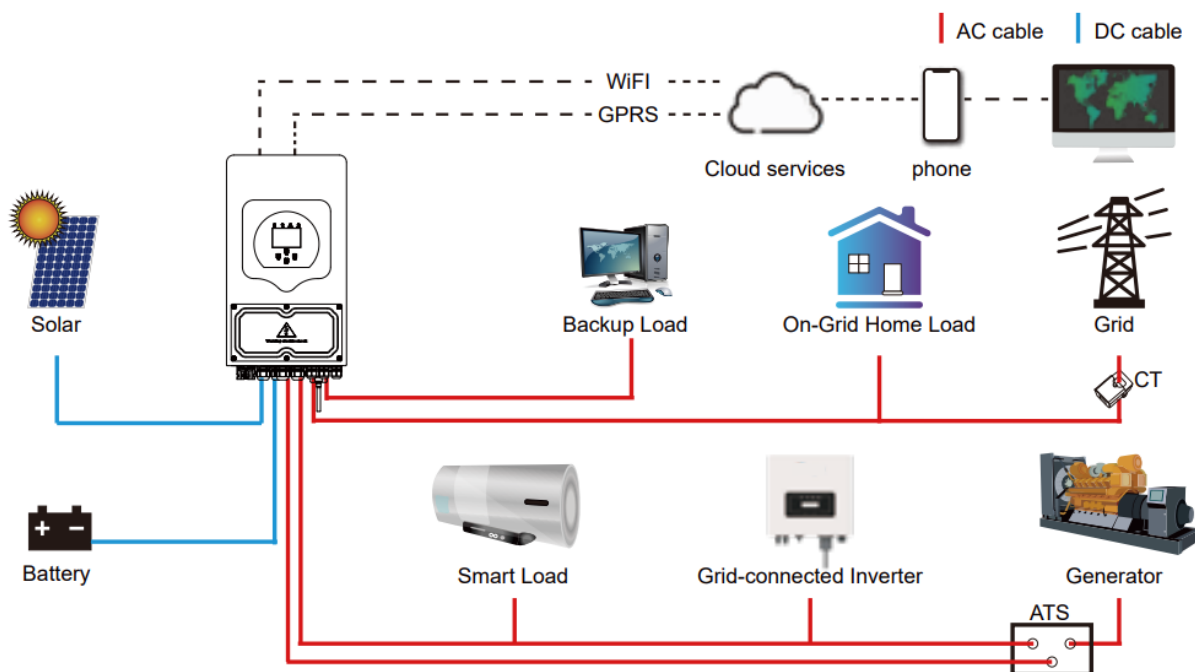


Рисунок 1.3 – Структурна схема компонентів гібридної станції

Автономна сонячна електростанція – це такий тип системи, який немає підключень до традиційних джерел енергії. Така сонячна електростанція працює за рахунок отриманої сонячної активності від ФЕМ та накопичування її в пристроях зберігання електроенергії. Для потреб та запобігання від нестачі електроенергії ще додатково застосовується в системі генератор, який виступає як джерело енергії в період можливої нестачі електроенергії при надмірному попиті. До прикладу така система може в день працювати від сонячної енергії та заряджати пристрої зберігання енергії, а вночі від накопиченої енергії у світлий час доби. Структурну схему компонентів автономної станції можна побачити на рисунку 1.4.

Перевагою такою системи є робота в умовах ізольованої від централізованою мережі та здатність економити на паливі за рахунок використання сонячної електроенергії у денний період. Додатково, можливо заряджання пристроїв накопичення енергії, а застосовувати генератор у випадку надмірного споживання стає важливою для оптимізації витрат. Такий тип станції є раціональним для домашніх домогосподарств, які не потребують великої кількості електроенергії, адже системи накопичування великих масштабів збільшують вартість системи.

Недоліки системи полягаю у вартості такої системи та необхідності встановлення багатьох складових для налагодженні всіх компонентів для забезпечення її роботи, що робить систему складною. Також така система не передбачає можливості додаткового доходу так як не має підключень до загальної мережі. Крім того у випадку зміни споживання домогосподарством необхідно встановлення більшої ємності системи накопичування електроенергії.

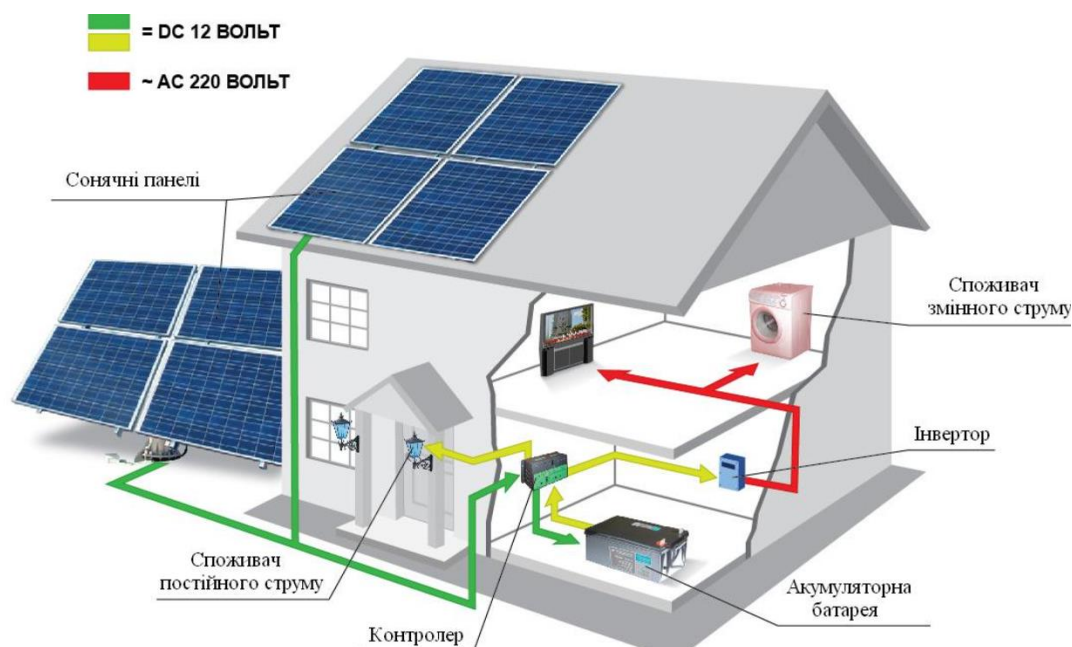


Рисунок 1.4 – Структурна схема компонентів автономної станції.

1.3 Тарифи на електроенергію для промислових споживачів

Ціна на електроенергію в Україні поступово зростає та зміна цієї тенденції не передбачає зміни в сторону зменшення вартості. Тарифи на електроенергію для підприємства формуються різноманітних чинників це може бути як і власне спожита електроенергія так і постачання та затрати на обслуговування електричних мереж. На сьогоднішній день більшість підприємств ціна на електроенергію знаходиться в межах 6-8 грн за кіловат годину.

Останній рік підвищення на електроенергію відбулося через наслідки ракетних ударів по енергетичній системі України, було завдано значних руйнувань генеруючих установок та необхідності ремонту цих об'єктів. Також через дефіцит потужності в мережі відбувалися екстрені закупівлі електроенергії у сусідніх тариф у пікові періоди дефіциту потужності. Всі ці чинники спричиняють до зростання вартості для підприємств та населення електроенергії. Тому збільшення тарифів та власної енергобезпеки підприємства підштовхує їх інвестувати кошти для будівництва СЕС для

компенсації власного споживання, або можливості виробництва електроенергії та продажу у мережах зеленого тарифу. Наразі діють спрощенні процедури підтримку підприємств для встановлення власних генеруючих установок.

Проблема у електропостачанні підприємства та зростання вартості електроенергії може призвести до різних негативних наслідків. Це включає збільшення вартості виробництва товарів, зниження їх якості, скорочення заробітної плати працівників у спробі скомпенсувати витрати на електроенергію, падіння конкурентоспроможності підприємства на ринку, а також можливість необхідності залучення зовнішніх коштів або реструктуризації бізнесу.

Отже тому багато підприємства розглядає можливість встановлення сонячних станцій для компенсації власних витрат, тобто з системою керування СЕС з точкою нульового експорту електроенергії в мережу.

1.4 Функції системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту

Розглядаючи функції систем керування СЕС з точкою нульового експорту електроенергії, акцентуємо увагу на найпоширенішому та найдешевшим типом сонячної електростанції, а саме мережеві сонячні електростанції на компенсацію власних витрат електроенергії. Дослідимо основні компоненти та пристрої такої системи та їх функції в системі керування СЕС з нульовим експортом.

Система керування з точкою нульового експорту – це набір обладнання та програмного забезпечення, що автоматично реагує та виконує роботу з керування СЕС для максимальної оптимізації власного споживання електроенергії за рахунок продуктивності сонячної генерації та мінімізації експорту електроенергії з мережі. Розглянемо основні компоненти системи:

Інвертори – це пристрої для перетворення постійного струму (DC), який генерується сонячними панелями, на змінний струм (AC), який

використовується в побутових приладах та обладнанні.

Smart data logger (контролер) – який збирає дані про дані з споживання з мережі та оцінює можливості в режимі реального часу виробництва сонячної генерації для заміщення електроенергії з мережі. Керує всіма компонентами СЕС.

SmartMeter (смайтметр) – двонаправлений інтелектуальний лічильник електроенергії, призначений для оптимізації використання електроенергії. В цьому пристрої також вбудовано функцію 0% Feed-In (Zero Export). Це означає, що вироблена сонячною станцією, енергія не потрапить в центральну енергомережу. При цьому залишається можливість споживати електроенергію з мережі, якщо сонячної енергії недостатньо. Сонячні панелі, генерують електричну енергію, інвертор відбирає цю енергію у вигляді постійного струму і перетворює його в змінний. Змінний струм подається в електромережу об'єкта для забезпечення власних потреб підприємства. [3]

Програмне забезпечення – відображення інформації в програмному застосунку, що дозволяє керувати параметрами станції та отримувати дані, статистику про виробництво та споживання електроенергії.

Основні функції, які забезпечує система керування сонячної електростанції з точкою нульового експорту електроенергії є:

Моніторинг системи. Така система включає в себе збір даних про виробництво та споживання електроенергії, стан мережі та всіх компонентів сонячної станції. Крім того є можливість керувати сонячної електростанцією віддалено за допомогою мережі інтернет. Програмне забезпечення системи також забезпечує візуалізацію даних у вигляді графіків та діаграм для відстеження параметрів роботи станції і надає детальні звіти про її функціонування.

Впровадження стратегії енергозбереження. За допомогою системи керування, можна здійснювати регулювання режимів роботи обладнання для ефективного використання сонячної енергії та компенсувати затрати

електроенергії з мережі.

Захист від перевантажень. Розробка системи керування має в собі можливість автоматично відслідковувати параметри станції та у разі перевищення допустимих значень, система здійснюватиме відключення або обмеження генерації.

Висновок: У розділі розглянуто теоретичні основи системи керування сонячною електричною станцією з нульовим експортом. Досліджено розвиток сонячної енергетики в Україні, різні типи сонячних станцій, тарифи для промислових споживачів та функції системи керування.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

2.1 Принцип роботи та дослідження характеристик системи керування

Аналізуючи принцип роботи та характеристики систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії, варто звернути увагу на принцип роботи сонячної електростанції.

Електрична енергія, яку отримує інвертор від фотоелектричних модулів - постійний струм. Він подається до інвертора у якому енергія перетворюється в електричний змінний струму. У випадку використання трьох фазного інвертора змінна енергія від інвертора подається до споживача електричної енергії з напругою 400 В. Робота мережевого інвертора забезпечується лише тоді, коли є напруга в мережі змінного струму і вона відповідає межах встановлених стандартами. При наявності струму від ФЕМ і напруги в мережі змінного струму, інвертор починає перетворювати електроенергію з постійного струму, що виробляється ФЕМ в електроенергію змінного струму і видає її у внутрішню мережу підприємства.

Контролювання роботи інвертора здійснюється за допомогою контролер (Smart data logger). Цей контролер відстежує параметри роботи інвертора, щоб забезпечити вихідний струму синусоїдної форми з мінімальною похибкою та синхронізованою по фазі напругою. Це все відбувається в автоматизованому режимі функціонування інвертора та в цілому всієї сонячної електростанції, такий постійний контроль системи керування сонячною електричною станцією забезпечує максимальну потужність ФЕМ та зниження втрати виробництва електроенергії.

Варто відзначити, що виробництво сонячної електроенергії залежить

від рівня сонячного випромінювання та рівня споживання електроенергії споживачем в даней момент часу. Це є важливим аспектом у системі керування сонячної електричної станції з точкою нульового експорту електроенергії. Така система вимагає ефективної експлуатації, що в потребує постійного контролю та коректної роботи, оскільки сонячна електростанція реагує на коливання сонячної енергії протягом дня, а вночі припиняє свою роботу.

Існують два основних варіанта роботи такої системи.

1. Перший варіант полягає у тому, що енергія яка генерується сонячною електростанцією вистачає або майже дорівнює споживанню електроенергії на підприємстві. У такому випадку вся енергія, яку буде виробляти сонячна електростанція буде використовуватися для споживання на підприємстві. У випадку нестачі згенерованої енергії не вистачає, система керування буде доповнювати її зовнішнім джерелом електроенергії.
2. Другий варіант полягає у тому, генерація електроенергії перевищуватиме споживання підприємства. В цьому варіанті, згенерована електроенергія йде на навантаження, а відповідно — в цей момент підприємство не споживатиме з мережі. Завдяки лічильнику Smart Meter та системі керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії в мережу не потрапляють надлишки згенерованої електроенергії — подається команда на інвертор щодо обмеження вироблення електроенергії від сонячних фотомодулів до рівня споживання[4].

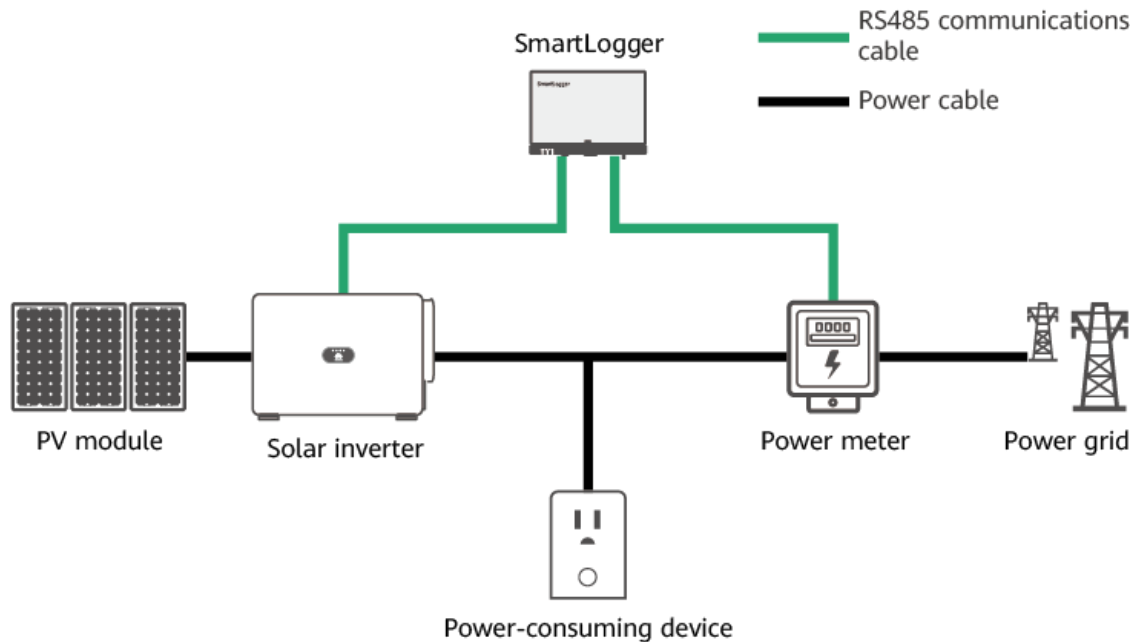


Рисунок 2.1 – Структурна схема комунікації SmartLogger та Power meter.

Для керування основними характеристиками системи керування з СЕС з точкою нульового експорту електроенергії потрібно звернути увагу на такі аспекти, як:

- Генерація від фотоелектричних модулів;
- Перетворення інвертором постійного струму в змінний струм з межах фіксований параметр;
- Синхронізація з мережею;
- Автоматизована система керування потужністю;
- Захист та моніторинг;
- Управління та комунікація між всіма компонентами станції.

2.2 Огляд існуючих систем керування

Різноманітність існуючих системи керування сонячними електростанціями є досить різноманітними. Це зумовлено тим, що є різноманітні умови підключення таких станцій. Такі умови вимагають додаткових функцій для виконання різних технічних завдань. Наприклад, станція може функціонувати для власних потреб підприємства або мати

можливість продажу надлишкової виробленої електроенергії. Розробка та вибір відповідних систем є ключовим етапом у ефективній роботі сонячної електростанції в майбутньому. Існуючі типи систем керування сонячною електричною станцією, можна класифікувати за різними характеристиками.

1) За типом сонячної електростанції.

До систем керування висуваються певні вимоги, щодо різних сценаріїв роботи та використання в системі різних типів інверторів. Перш за все потрібно з'ясувати алгоритм роботи, це буде залежати від типу встановлено інвертора. Як відомо було раніше, що таких типів може бути три , а саме :

- Мережева сонячна електростанція;
- Автономна сонячна електростанція;
- Гібридна сонячна електростанція.

Усі ці типи СЕС потребують різних вимог , щодо їх впровадження в систему. Також можливості набору функцій, які має забезпечити система керування.

2) За набором функціональних можливостей.

Варіативність функціональних можливостей системи керування може бути безліч, в залежності від обраних функцій буде і залежати вартість впровадження системи керування. Тому розрізняють такі типи:

- Базові: вони забезпечують синхронізацію з мережею, регулювання потужності, моніторинг виробництва електроенергії , комунікація лише з декількома пристроями, та захист СЕС.

- Розширені: такий тип можливостей пропонує всі базові можливості та ще може застосовуватися в системах, де необхідне управління з системами накопичення електроенергії, інтеграція з розумним будинком, контроль над потужністю для кількох вводів, комунікація з різними виробниками обладнання, прогнозування виробництва електроенергії, можливої паралельної роботи з іншими генеруючими установками.

3) За способом керування.

Керування сонячною електростанцією може використовувати різні способи управління у відповідності до умов та складності системи, до якої потрібно інтегрувати управління. Ці системи можуть мати різні структури виконання, тому розрізняють такі способи керування:

- Централізований: цей спосіб керування логікою контролю сонячної електричної станції зосереджений в одному контролері. Така система буде мати більш просту структуру та вартість її встановлення не буде становити великих затрат. Але при потребі масштабування станції або використання додаткових можливостей керування така система може бути не придатною для задоволення потреб роботи.

- Децентралізований: цей спосіб керування передбачає розділенням функцій між декількома контролерами, які можуть бути розміщені в різних частинах станції. Така система є більш гнучкою та варіативною у своїх можливостях, вона може забезпечувати інтеграцію з складними завданнями системи керування. Недоліками таких систем може бути більш складна структура керування сонячною електричною станцією, необхідності чіткої координації між роботами контролерів та іншого обладнання та вартість таких системи є більшою в порівнянні з використанні одного контролера в системі.

4) За виробником.

Існують безліч виробників сонячних інверторів та систем керування. Вони пропонують надійні, доступні, ефективні та багатофункціональні системи керування сонячною електричною станцією. Серед найбільш відомих виробників є компанії Huawei, Solis, SolarEdge, Fronius, Must, Deye, SMA, Victron Energy, ComAp та інші. Принцип та комунікація між роботою пристроїв в система залежності від виробника може бути різною, тому варто використовувати тип інвертора та системи керування одного виробника або можливої сумісності з сторонніми пристроями.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд пристроїв керування СЕС від різних світових виробників обладнання.

Розглянемо систему керування сонячною електричною станцією для домашніх домогосподарств та для малопотужних СЕС, що зображено на рисунку 2.3. Для виконання підключення даної будемо зважати на такі умови як, встановлений інвертор є мережевим, низька вартість обладнання для керування системи, виконання функції нульового експорту електроенергії. Автоматизований режим роботи станції при зміні до поточного споживання електроенергії домогосподарством та можливість в контролю в даний час генерації СЕС та захист від перенапруги та стороннього втручання.

Згідно постанови національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики, загальна дозволена потужність генеруючих установок (генеруючих установок) для домогосподарств становить не більше

50 кВт. Тому пристрій керування СЕС повинний бути сумісний з інверторами даної потужності.

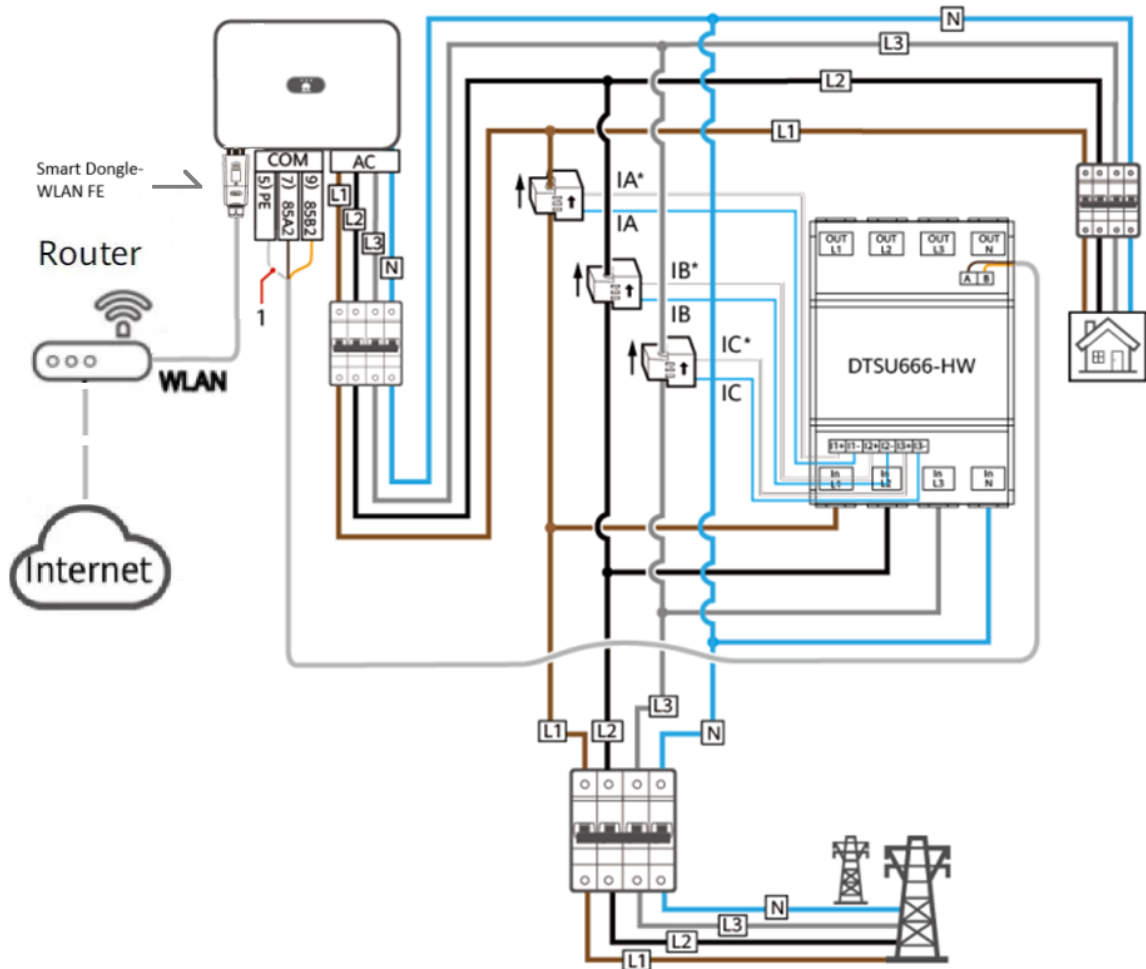


Рисунок 2.3 – Існуюча схема підключення інвертора та системи керування сонячною електричною станцією для домогосподарств.

Дана схема демонструє, як мережевий інвертора, пристрій керування (Huawei DTSU666-H) та пристрій моніторингу Smart Dongle-WLAN FE взаємодіє один з одним. Така система може підключити до 10 інверторів, вона здатна контролювати генерацію активних точок відповідно до потреб споживання. Це досягається шляхом отримання розумним лічильником інформації про потужність підключеної точки та регулювання потужності

інвертора відповідно цієї інформації. Передача даних від лічильника до інвертора відбувається в реальному часі за допомогою стандарту RS-485, що запобігає потраплянню надлишкової електроенергії в мережу. Пристрій моніторингу передає інформацію через мережу інтернет про поточний стан системи та можливість дистанційно керувати параметрами сонячної електростанції через веб-застосунок.

Перевагами цієї системи є надійна робота системи, забезпечення контролю нульового експорту електроенергії та вартість системи керування СЕС є оптимальною для виконання даних умов. Також ця система має можливість керувати станцією віддалено за допомогою веб-застосунку через підключення до інтернет-з'єднання.

Недоліками цієї системи є у тому, що дана система може використовуватися тільки з інвертора малої потужності та може працювати тільки з одним джерелом електричної мережі. Крім того дана система не передбачає встановлення метеостанції та взаємодії з системами накопичування електроенергії у майбутньому.

Незважаючи на це, така система керування сонячною електростанцією з точкою нульового експорту електроенергії може застосовуватися для домашніх господарств або невеликих комерційних об'єктів, де в подальшому не планується встановлення сонячних електростанцій та систем зберігання енергії.

Розглянемо наступне існуюче рішення, щодо впровадження систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту. Це рішення може застосовуватись як для малопотужних сонячних електростанцій, так і для промислових станцій, забезпечуючи різні сценарії роботи. Схема підключення до пристрою керування сонячною електричною станцією показана на рисунку 2.4. Дана система підтримує контроль до 80 пристроїв та надає всю інформацію про систему віддалено. Керування системою може відбуватися за допомогою підключення до інтернет мережі.

Підключення до пристрою керування, а саме SmartLogger відбувається за допомогою протоколу зв'язку RS485. Це дозволяє підключатися до таких пристроїв Huawei, як інвертори чи PID модулі, а також до приладів моніторингу навколишнього середовища, трансформаторних станцій та лічильників потужності, що використовують протокол Modbus-RTU. Крім того система підтримує вимірювачів потужності, які використовують протокол DL/T645, і пристроїв, що використовують протокол IEC103. Інтерфейс MBUS дозволяє SmartLogger підключатися до сонячних інверторів Huawei та PID-PVBOX, що підтримують зв'язок MBUS[5].

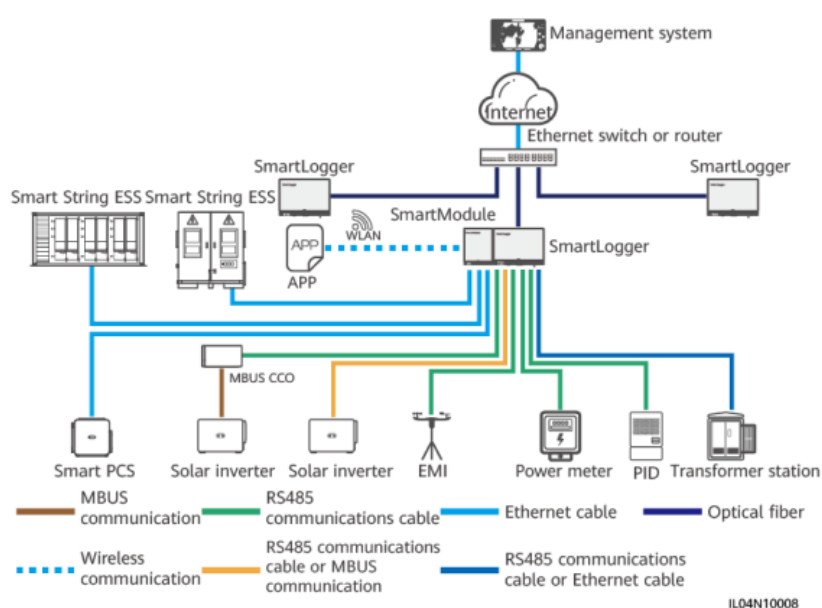


Рисунок 2.4 – Існуюча схема підключення інверторів та системи керування СЕС для промислових об’єктів.

Ця схема може застосовувати для умови використання як і домогосподарств, так і для промислових об'єктів, оскільки система керування є більш гнучкою та забезпечує приєднання до одного пристрою керування СЕС до 80 інверторів. Система також підтримує безліч протоколів роботи, що робить її ще більш універсальною та зручною для різних умов експлуатації.

Система керування за допомогою SmartLogger 3000A підтримує

режими роботи, такі як нульовий експорт електроенергії в мережу, а також видачу надлишків електроенергії в мережу. Крім того, система може інтегрується з системами накопичування, що дозволяє ефективно керувати всіма компонентами сонячної електростанції та усіма можливими режимами її роботи в одному пристрої.

Переваги цієї системи є її багатозадачність та різноманітність сценарії застосування для системи керування СЕС. Система може бути інтегрована з інверторами різної потужності, лічильниками та системами накопичування. Вона також підтримує можливість налагодити режим роботи з точкою нульового експорту електроенергії та експортом в мережу. Крім того система може працювати з метеоданими, аналізувати та прогнозувати виробництво електроенергії.

Недоліком даної системи є висока вартість системи, оскільки рішення з використанням цього пристрою керування може значно залежати від технічного завдання. Крім того, ця система не здатна працювати з декількома джерелами вводу електроенергії, що може обмежувати її застосування в деяких випадках. Також важливо зазначити, що вона не може функціонувати паралельно з іншими генеруючими установками для забезпечення резервного джерела електропостачання.

Розглянемо також ще один доступний варіант застосування систем керування сонячною електростанцією з нульовим експортом електроенергії. Він базується на поєднанні підключення інверторів будь-якого виробника, поєднання паралельної роботи сонячної електростанції та генератора, підключення до багатьох контролерів, систем накопичування та дистанційного керування. Приклад такої схеми підключення можна побачити на рисунку 2.5. Це дозволяє користувачам обрати продукти, які вони бажають використовувати або вже існуюче обладнання поєднати їх роботу, і забезпечити більшу гнучку і зручну системи під час вибору компонентів для своєї системи сонячної електростанції.

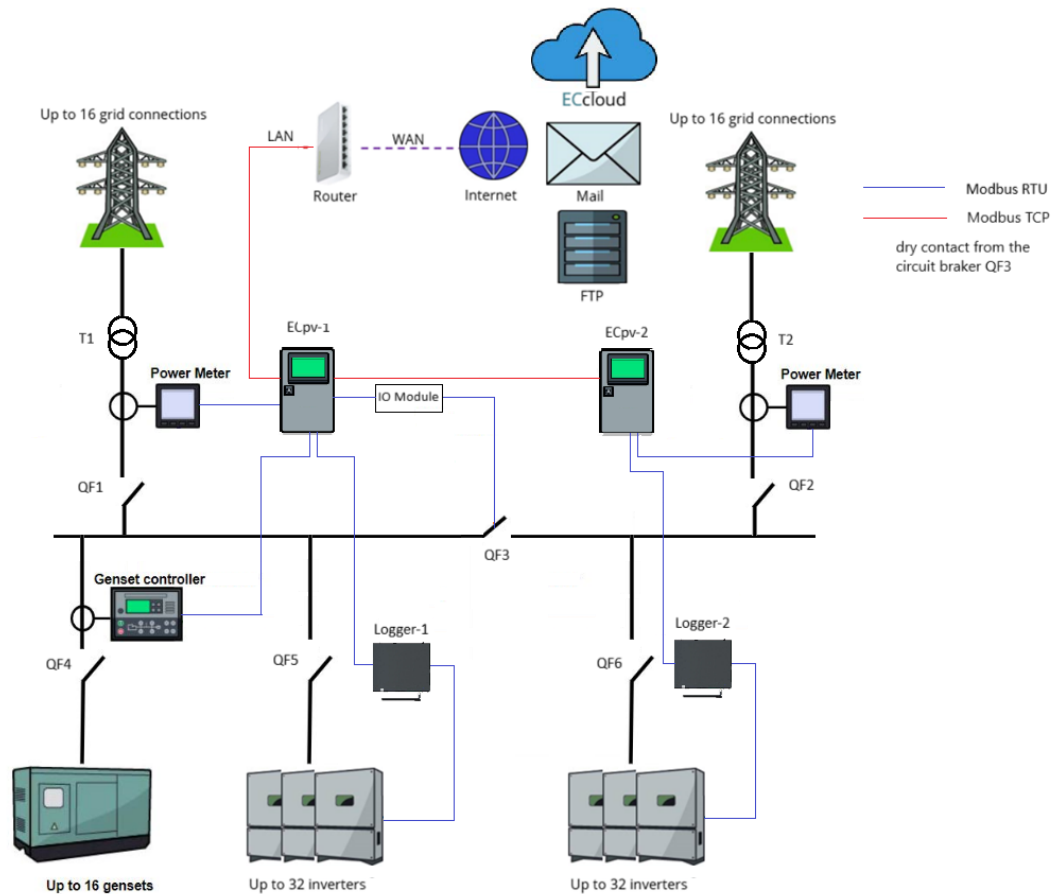


Рисунок 2.5 – Існуюча схема підключення інверторів та системи керування сонячною електричною станцією для промислових об'єктів у поєднанні роботи з іншими генеруючими установками.

Дана схема реалізована на комбінованому контролерів який може працювати, як з фотоелектричними установками, так з генераторними установками, може використовуватися і без них. Схема демонструє роботу сонячної електростанції у випадку підключення до двох джерел електричної енергії. У нормальному режимі система живиться від джерел T1 та T2, причому секційний вимикач залишається вимкненим. У разі зникнення напруги на одному з вводів або обох, секційний вимикач QF3 замикається, і система переходить на живлення від генератора, який забезпечує електропостачання для всіх споживачів секції шин один і два.

Інвертори мережевого типу, підключені до системи, потребують опорної напруги для роботи. У випадку живлення від генератора потрібно синхронізувати роботу генератора та сонячної електростанції. Система роботи з сонячною електростанцією та генератором передбачає, що для забезпечення максимального ресурсу та стабільної роботи генератора необхідно підтримувати певний рівень навантаження. Генератор не може працювати в холостому ході для створення мережі для роботи СЕС. Тому потрібно оптимально завантажувати його не менше 30%, як рекомендують виробники генераторів. Це значення можна налаштувати на контролері Encombi. Якщо потужність, що надходить до навантаження, перевищує 30% завантаження генератора, то потужність буде компенсувати за рахунок сонячної електростанції. У випадку якщо навантаження менше 30 %, інвертори перебувають в режимі обмеження, та робота відбувається тільки від генератора.

У нормальному режимі роботи схеми сонячна електростанція працює у режимі роботи нульового експорту . Це забезпечує, щоб надлишкова енергія не потрапляла в зовнішню мережу, а зберігалася в системах накопичування електроенергії або використовувалася для внутрішніх потреб.

Перевага використання зовнішнього контролера від компанії Encombi є універсальним пристроєм, який можна підключити до сонячного інвертора будь-якої марки, накопичувача енергії, вимірювача потужності, датчика погоди та контролера генераторної установки. Це полегшує вибір продуктів, які ви хочете використовувати, замість того, щоб покладатися на те, що підтримує система керування.[6]

Використання зовнішніх контролерів для керування сонячними електростанціями (СЕС) має кілька значних недоліків. Перш за все, вони підвищують загальну вартість системи, роблячи її дорожчою порівняно з іншими рішеннями для керування СЕС. Інсталяція та конфігурація таких контролерів вимагає високого рівня технічних знань та досвіду, що може

призвести до додаткових витрат на залучення кваліфікованих фахівців. Також, використанням в системі додаткових зовнішніх контролерів підвищує ймовірність несправностей, оскільки збільшується кількість задіяних компонентів у системі.

Розглянуте існуюче рішення для застосування системи керування сонячною електростанцією з точкою нульового експорту електроенергії є досить гнучким та універсальним. Рішення, щодо підключення до складних системи електропостачання та роботі паралельно з іншими джерелами генерації та збереження енергії є досить ефективним рішенням для їх синхронізацію роботи.

Розглянемо ще один варіант застосування систем керування для сонячної електростанції з нульовим експортом електроенергії, використовуючи SCADA системи. Один з прикладів такої системи наведено на рисунку 2.6.

SCADA (аббр. від англ. supervisory control and data acquisition , диспетчерське управління та збір даних) - програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління[16].

SCADA може бути частиною АСУ ТП, АСКОЕ, ВМС і т. д. SCADA-системи використовуються у всіх галузях, де потрібно забезпечувати операторський контроль за технологічними процесами у реальному часі[16].

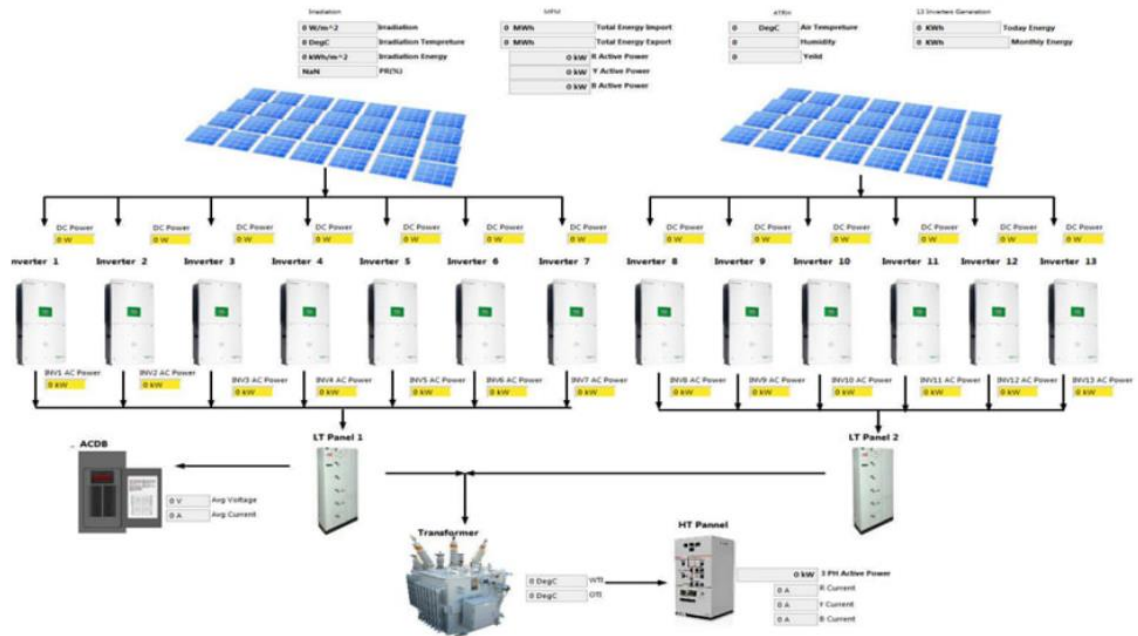


Рисунок 2.6 – Існуюча схема підключення інверторів та системи керування сонячною електричною станцією використовуючи систему SCADA

Використання SCADA для керування сонячними електростанціями з нульовим експортом електроенергії надає наступні можливості:

1. Моніторинг та керування в реальному часі.

Система SCADA дозволяє моніторити всі параметри роботи сонячної електростанції в режимі реального часу, забезпечуючи своєчасну інформацію про продуктивність, стан обладнання та можливі несправності. Завдяки цьому можна оперативно реагувати на будь-які відхилення від нормальної роботи та вживати необхідних заходів для усунення проблем. Крім того, SCADA забезпечує можливість централізованого керування всіма компонентами системи з єдиного диспетчерського пункту, що значно спрощує процес управління та підвищує ефективність роботи електростанції. Це дозволяє операторам швидко і точно вносити необхідні корективи, забезпечуючи оптимальну роботу всіх елементів системи.

2. Оптимізація роботи та підвищення ефективності.

Збір і аналіз даних за допомогою системи SCADA допомагають оптимізувати роботу сонячної електростанції, максимізуючи виробництво енергії та мінімізуючи втрати. Система також здатна виявляти аномалії та попереджати про потенційні несправності, що дозволяє оперативно реагувати та знижувати час простою. Це забезпечує безперебійну роботу електростанції та підвищує її ефективність.

3. Безпека та надійність.

Система SCADA забезпечує захищений доступ до системи та контроль за тим, хто може вносити зміни в налаштування, що гарантує безпеку та цілісність даних. Крім того, можливість віддаленого моніторингу та керування дозволяє операторам стежити за станом обладнання та керувати ним без необхідності фізичного доступу до небезпечних компонентів, знижуючи тим самим ризики для їхньої безпеки.

4. Звітування та довгострокова аналітика.

Дана системи керування також включає в себе автоматичне генерування звітів про продуктивність, споживання та ефективність роботи електростанції. Це дозволяє операторам миттєво отримувати необхідну інформацію для моніторингу та аналізу роботи системи. Крім того, система забезпечує довгострокове зберігання даних, що дозволяє проводити детальний аналіз та планування майбутніх заходів щодо покращення роботи системи. Це є важливим аспектом для забезпечення стійкості та оптимальної ефективності сонячної електростанції у майбутньому.

Застосування SCADA для керування сонячними електростанціями має ряд переваг і недоліків.

Переваги: по-перше, ця система забезпечує ефективне управління та моніторинг в реальному часі, що дозволяє операторам швидко реагувати на будь-які зміни та оптимізувати роботу станції для максимізації виробництва

енергії. Крім того, за допомогою SCADA можна проводити оптимізацію продуктивності та зниження витрат, що є ключовим фактором для підвищення прибутковості проекту. Також важливо відзначити, що впровадження SCADA сприяє підвищенню безпеки та надійності електростанції, оскільки система надійно контролює роботу обладнання та може оперативно реагувати на будь-які аварійні ситуації. Не останнє місце серед переваг займає можливість інтеграції SCADA з іншими системами, такими як системи автоматизованого управління технологічними процесами (АСУ ТП), системи комерційного обліку електроенергії (АСКУЕ), системи управління будівлями (BMS) тощо. Це дозволяє створити комплексну систему керування, що забезпечує оптимальний рівень автоматизації та контролю всіх аспектів роботи сонячної електростанції.

Недоліки: крім визначених переваг, використання SCADA для керування сонячними електростанціями також пов'язане з деякими недоліками та викликами. Перш за все, на початковому етапі імплементації системи можуть виникнути значні витрати на встановлення та налаштування SCADA, що може стати перешкодою для деяких проектів. Крім того, існують ризики, пов'язані з кібербезпекою та захистом даних, оскільки SCADA може стати об'єктом кібератак або несанкціонованого доступу до інформації про електростанцію. Додатково слід врахувати, що система є досить трудомістким процесом створення та дуже дорогавартісним проектом реалізації. Це може вимагати значних зусиль та фінансових витрат проекту.

Розглядаючи системи SCADA для керування сонячними електростанціями з нульовим експортом електроенергії виявляється ефективним рішенням, оскільки надає широкі можливості для моніторингу, оптимізації та безпеки роботи станцій. Завдяки системі SCADA забезпечується моніторинг та керування в реальному часі, що дозволяє операторам оперативно реагувати на будь-які зміни та максимізувати

виробництво енергії. Крім того, система допомагає в оптимізації роботи станції та підвищенні ефективності за рахунок аналізу даних та виявлення потенційних несправностей. Потрібно врахувати, що використання SCADA для керування сонячними електростанціями є досить дороговартісним та часомістким процесом. Реалізація системи SCADA вимагає значних витрат на імплементацію та налаштування, оскільки кожен проєкт є унікальним і потребує індивідуального підходу. Налаштування системи зазвичай вимагає часу та спеціалізованої експертизи для створення оптимальних налаштувань, відповідних потребам конкретного проєкту.

Використання SCADA для керування сонячними електричними станціями з точкою нульового експорту електроенергії може значно підвищити безпеку, надійність та ефективність сонячних електростанцій. Проте необхідно враховувати, що розробка та впровадження таких систем є складним та витратним процесом, який вимагає значних фінансових і часових зусиль.

2.3 Аналіз критеріїв вибору систем керування

При виборі системи керування для сонячної електростанції важливо провести аналіз за критеріями, щоб визначити, яке з рішень є найкращим та відповідає конкретним потребам та умовам експлуатації. Нижче розглянемо ключові аспекти, які слід враховувати під час аналізу:

1) Функціональні можливості системи керування.

Перш за все необхідно зрозуміти, які необхідні функції від системи керування. Це залежить від кількості пристроїв, кількість підключень до різних джерел живлення та потреби в синхронізації з іншими генеруючими установками або системи накопичування енергії. Крім того, слід враховувати сумісність системи з наявним обладнанням, таким як розумні лічильники, системи керування, а також тип встановленої станції. Адже можлива робота станції, як з мережею або для компенсація власних потреб.

2) Вартість системи керування.

Вартість системи є одним з ключовим аспектом, що впливає на вибір системи керування. У випадку використання стандартних рішень та мінімального набору компонентів, які система керування повинна об'єднувати, вартість системи буде відносно низькою, при цьому буде забезпечуватися усі базові налаштування та функції для керування СЕС.

3) Складність технічних вимог до підключення існуючої електромережі.

Система керування СЕС з точкою нульового експорту електроенергії повинна бути сумісною з наявним обладнанням. Також система повинна мати адаптацію до зміни у мережі та оцінки поточного навантаження для коректної роботи системи керування й виконання нульового експорту електроенергії в мережу. Також при підключенні системи керування СЕС до існуючого обладнання необхідно, щоб всі пристрої в системі підтримували відповідні протоколи та стандарти, які використовує система керування СЕС.

4) Надійність та обслуговування.

При виборі системи керування СЕС з точкою нульового експорту електроенергії потрібно забезпечити надійність системи та мінімальними вимогами до обслуговування. Адже при не справній системі керування сонячної електростанції може припинити генерацію або створити аварійну ситуацію у внутрішній енергетичній мережі. Тому всі компоненти системи повинні працювати надійно, адже це впливає на роботу станції загалом. Також важливим є врахувати можливість доступу до сервісних центрів або технічної підтримки у випадку виявлення несправності пристрою.

Після аналізу критеріїв вибору системи керування для сонячних електростанцій з точкою нульового експорту електроенергії можна зробити наступні висновки. Всі зазначенні вище критерії будуть впливати на знаходження оптимального технічного рішення для вибору системи керування з точкою нульового експорту електроенергії. Застосування комплексного підходу до вибору гарантує, що система буде відповідати всім

вимогам та забезпеченню ефективної роботи усієї сонячної електростанції у відношенні до вартості при прийнятті рішення.

Висновок: У цьому розділі було проведено аналіз існуючих систем керування сонячною електростанцією з точкою нульового експорту електроенергії. Проаналізовано принцип роботи та досліджено характеристики таких систем. Також був проведений огляд наявних систем керування та розглянуті критерії вибору оптимальної системи.

З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

У даному проекті розглядається економічна доцільність провадження сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії. Дана тема є актуальною для багатьох підприємств, оскільки вони активно шукають рішення для підвищення енергетичної безпеки та провадження енергоефективних заходів для збільшення конкурентоспроможності на ринку та забезпечення ефективного використання відновлювальних джерел енергії.

З огляду на постійне зростання цін на енергоресурси та нестабільність цінової політики, виробництво власної електроенергії стає привабливим для підприємств. Введення в експлуатацію сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії дозволяє ефективно використати вироблену енергію для власних потреб, зменшуючи залежність від зовнішньої мережі та мінімізацію витрати на електроенергію.

На сьогоднішній день системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії демонструють високий рівень затребуваності. Це пов'язано з активним розвитком відновлювальних джерел енергії та зростаючим інтересом до зелених технологій.

3.1 Основні засоби сприяння виробництву електроенергії з відновлювальних джерел в Україні.

Засоби сприяння виробництва електроенергії з відновлювальних джерел (ВДЕ) в Україні є важливим аспектом для розвитку альтернативних джерел енергії. Поступове зростання попиту на електроенергію у процесі розвитку економіки та виробничих технологій є невід'ємною складовою. Сьогодні покриття у потребі використання електричної енергії відбувається

за рахунок традиційних джерел енергії, які в свою чергу є викопними ресурсами та призводять до збільшення викидів вуглекислого газу та загрози глобальному потеплінню.

Тому на меті у багатьох країнах світу, зокрема в Україні, є зменшення викидів парникових газів. Це відбувається за рахунок впровадження та застосування різних видів альтернативних видів виробництва електроенергії. Для України є важливий стрімкий розвиток альтернативної енергетики, тому що це пришвидшить економічний розвиток та енергонезалежність України. Ця галузь виробництва поступово розвивається та впроваджується в різні галузі економіки країни. Ефективне впровадження даних технологій сприяє підвищенню конкурентній спроможності поміж іншими за рахунок використання більш дешевої «зеленої» енергії.

Основними засобами сприяння розвитку галузі відновлювальних джерел енергії в Україні є:

1) **Державна програма та законодавство:** одними із регулюючим чинником є закон України «Про альтернативні джерела енергії» та Закон України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо стимулювання розвитку виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії". На сьогоднішній день врегульовано підтримку та розвиток альтернативної енергетики. Зокрема йдеться про декілька механізми підтримки. Основними на даний момент є як:

- “Зелений” тариф;
- “Зелені” аукціони;
- Чистий облік енергоспоживання (net metering);
- Прямі договори купівлі-продажу енергії (corporate PPAs);
- «Зелені» надбавки (feed-in premiums);
- Контракти на різницю (CFDs);
- Зберігання;
- Самовиробництво електричної енергії (Net Billing)[8].

"Зелений" тариф - спеціальний тариф, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, зокрема на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії (а з використанням гідроенергії - лише мікро-, міні- та малими гідроелектростанціями).[7]

Запровадження цього механізму було тимчасовим рішенням, для початкового розвитку альтернативної енергетики, цей механізм буде діяти до 2030 року. «Зелений» тариф відіграв значну роль у стимулюванні інвестицій в сектор відновлюваної енергетики. Завдяки ньому було збудовано велику кількість об'єктів ВДЕ, що в свою чергу поступово зменшувало частку використання традиційних джерел енергії. Цей тариф забезпечив привабливі умови для інвестування у будівництво та зростання ринку ВДЕ. Результатом цього механізму сприяло зростання для української економіки, а саме залучення значних іноземних інвестицій та створення нових робочих місць.

Поглянемо на таблицю 3.1 зі зниженням «зелених» тарифів. Відповідно до Закону України про електроенергетику, тарифи на електроенергію, вироблену електростанціями, що були введені в експлуатацію або істотно модернізовані після 2014, 2020 і 2024 років, будуть поступово знижуватися.

Таблиця 3.1 – Зменшення «зелених» тарифів Згідно із Законом України про електроенергетику

Вид ВДЕ	Потужність електростанцій та інші чинники, що впливають на розмір «зеленого» тарифу	Тариф				
		по 31.03.2013 р. включно	з 01.04.2013 р. по 31.12.2014 р.	з 01.01.2015 р. по 31.12.2019 р.	з 01.01.2020 р. по 31.12.2024 р.	з 01.01.2025 р. по 31.12.2029 р.
Вітер	До 600 кВт ² включно	0,06462	0,06462	0,058158	0,051696	0,045234
	Більше 600, але не перевищує 2000 кВт	0,07539	0,07539	0,067851	0,060312	0,052773
	Понад 2000 кВт	0,113085	0,113085	0,1017765	0,090468	0,0791595

Продовження таблиці 3.1

Сонячна енергія	Електростанції на поверхні землі	0,46526	0,339255	0,3053295	0,271404	0,2374785
	Електростанції на дахах та/або фасадах будинків з потужністю, що перевищує 100 кВт	0,44587	0,348948	0,3140532	0,2791584	0,2442636
Сонячна енергія	Електростанції на дахах та/або фасадах будинків з потужністю до 100 кВт включно	0,426492	0,358641	0,3227769	0,2869128	0,2510487
	Електростанції на дахах та/або фасадах приватних домогосподарств із потужністю до 10 кВт включно	x	0,358641	0,3227769	0,2869128	0,2510487
Біомаса та біогаз	Відходи	0,123855	0,123855	0,1114695	0,099084	0,0866985
Гідроелектростанції	Мікрогідроелектростанції (до 200 кВт включно)	0,077544	0,19386	0,174474	0,155088	0,135702
	Міні-гідроелектростанції (понад 200 кВт, але не більше 1000 кВт)	0,077544	0,155088	0,1395792	0,1240704	0,1085616
	Малі гідроелектростанції (до 10 000 кВт включно)	0,077544	0,116316	0,1046844	0,0930528	0,0814212

Механізм самовиробництва - схема підтримки активних споживачів, призначена для власного споживання електричної енергії, за якою відбувається взаєморозрахунок вартості обсягу відпуску електричної енергії в електричну мережу генеруючими установками таких споживачів та вартості обсягу відбору ними електричної енергії з електричної мережі, з урахуванням вартості послуг з передачі та/або розподілу електричної енергії[8].

Цей механізм в Україні прийнятий прийти на заміну діючому механізму «зеленому» тарифі. Він набув чинності у 2024 році. Основним завдання якого

є сприяння на підвищення енергонезалежності споживачів та зниження їх витрат на електроенергію. Такі споживачі можуть використовувати власні генеруючі установки, для покриття своїх потреб у електроенергії, а надлишки передавати в мережу та отримуючи за це компенсацію. Це стимулює бізнес будувати власні генеруючі установки на території своїх підприємств. Важливість цього механізму в тому, що є взаєморозрахунок вартості електроенергії. Споживачі за рахунок будівництва власних генеруючих установок, насамперед забезпечують своє підприємство отриманої від ВДЕ за значно нижчою вартістю. Одночасно вони можуть ефективно використовувати вироблені надлишки, за рахунок продажу в мережу, що сприяє швидкій окупності своїх інвестиції у власні генеруючі установки.

Також цей механізм впливає на загальний енергетичний баланс країни та відіграє важливе місце у досягненні цілей щодо сталого розвитку енергосистеми. Таким чином впровадження цього механізму є важливим напрямком у підвищення енергонезалежності та розвитку ВДЕ та альтернативою «зеленому» тарифі.

«Зелені» аукціони передбачають у таких аукціонів оголошення державою загальну потужність нових об'єктів, яка має бути запропонована компаніям, які хочуть інвестувати в ВДЕ. Компанії подають пропозиції, які включають потужність та ціни самих об'єктів та вартість електроенергію проданих з цим об'єктів. Цей механізм сприяв би конкурентному середовищі між інвесторами, та дозволив би державі обирати між вигідними пропозиціями та вигідними проектами тим самим розвиваючи розвиток ВДЕ. Нажаль з 2019 року не відбулося жодного такого роду аукціонів через законодавчі проблеми.

Також один із нещодавніх змін до законодавства варто відмітити новий напрямок, а саме установки зберігання енергії. Приклад збудованих таких установок та СЕС показано на рисунку 3.1. Цей закон України набув чинності 16 червня 2022 року. Це також є важливим напрямком розвитку

ВДЕ в Україні, адже він ґрунтується на поясненні визначення діяльності зі зберігання енергії та ліцензування такої діяльності. Надання правових умов у використання таких установок надає інтеграцію в підвищену стабільність енергосистеми та забезпечення енергетичної безпеки України.



Рисунок 3.1 – Приклад інтеграції СЕС разом з установкою системи накопичування енергії.

Такі системи можуть використовуватися, як для резерву підтримки частоти, допоміжних послуг, безперервне живлення підприємства та балансування ВДЕ. Даних напрямок є новітнім та потребує розвитку у застосуванні даних установок, як для промислових споживачів, так і для енергосистеми України.

2) Фінансова підтримка: прикладом стимулювання за допомогою забезпечення є державні гранти, пільгові кредити та інвестиційні програми. Такі програми можуть стимулювати інвесторів на будівництво нових об'єктів. Вони можуть покривати частину витрат на вартість обладнання та

монтажу, що можуть знижувати початкові інвестиції на будівництво СЕС. Крім того, існують різні програми надання кредитів на вигідних умовах, де пропонуються низькі відсоткові ставки для будівництва об'єктів ВДЕ. Додатково, міжнародні фінансові інститути, такі як Європейський банк та розвитку реконструкцій (ЄБРР) та Світовий банк, активно інвестують у відновлювальні джерела енергії в Україні. Всі ці механізми спрямовані на збільшення розбудови інфраструктури ВДЕ та підвищення енергетичної незалежності України.

3) Підтримка наукових досліджень та інновацій: в Україні проводять підтримки науково-дослідницької роботи у сфері ВДЕ, спрямованих на розробку нових технологій. Ця підтримка включає є як і державні та міжнародні гранти, які призначені для фінансування наукових досліджень у цій галузі. Важливим аспектом є активна підтримка та заохочування вищих навчальних закладів до вивчення даних напрямків та створення нових освітніх програм, що сприяє розвитку галузі та підготовка кваліфікованих фахівців. Крім того, існують різноманітні програми обміну та співпраці з міжнародними науковими організаціями, а також участь в глобальних дослідницьких проектах. Це дозволяє переймати досвід інших країн світу та впроваджувати його в Україні.

Розглянувши різні засоби сприяння виробництва електроенергії, можна виділити на даний момент два основних механізми: "Зелений" тариф та Net-Billing (Механізм самовиробництва). Ці два механізми мають свої переваги та недоліки і підходять для різних категорій споживачів.

"Зелений" тариф виявляється більш вигідним для будинків. Це система оплати електроенергії, виробленої СЕС, яка встановлює гарантовану ціну за 1 кВт·год, що зазвичай вище, ніж ціна на електроенергію від традиційних джерел. Серед переваг цього механізму для домогосподарств варто зазначити гарантовану вигоду: споживач отримує компенсацію за надлишки електроенергії, незалежно від часу найбільшого споживання.

Net-Billing (Механізм самовиробництва) краще підходить для бізнесу. Цей механізм дозволяє взаємозалік електроенергії, виробленої СЕС та спожитої споживачем, без грошової компенсації за надлишки. Бізнес має можливість виробляти стільки електроенергії, скільки потрібно, незалежно від часу найбільшого споживання, що є значною перевагою. Проте є і недоліки: ціна за 1 кВт·год електроенергії в рамках Net-Billing залежить від ринкових цін, що робить її менш стабільною та передбачуваною.

Розглянемо таблицю 3.2 з порівнянням переваги та недоліки "зеленого" тарифу та Net-Billing (Механізм самовиробництва):

Механізм	Переваги	Недоліки
"Зелений" тариф	1) Високий тариф на енергію, вироблену з відновлюваних джерел енергії, що робить інвестиції привабливими. 2) Підтримка держави стимулює розвиток нових проектів у сфері відновлюваної енергетики. 3) Підтримка виробництва екологічно чистої енергії, зменшення викидів парникових газів. 4) Забезпечує стабільний дохід незалежно від коливань ринкових цін на електроенергію.	1) Дія "зеленого" тарифу обмежена до 2030 року. 2) Обмеження встановлення потужності генерації для домогосподарств. 3) Залежність від державних субсидій та політичних рішень щодо "зеленого" тарифу. 4) Бюрократичні труднощі та складний процес отримання дозволів для встановлення та експлуатації об'єктів відновлюваної енергетики.
Механізм самовиробництва	1) Накопичення грошей за згенеровану електроенергію, що можуть бути використані для оплати власного споживання. 2) Стабільний механізм для власного споживання, зменшення витрат на електроенергію. 3) Зменшення витрат на купівлю електроенергії з мережі.	1) Ціна за 1 кВт·год залежить від ринкових цін 2) Складність прогнозування вигод через змінні ринкові ціни 3) Виробництво та споживання електроенергії повинні бути в балансі

3.2 Капітальні витрати на встановлення сонячної електростанції

У даній роботі розглянемо витрати на будівництво сонячної електростанції з точкою нульового експорту електроенергії. Будівництво таких об'єктів залежить від багатьох факторів, кожен з яких впливає на загальну вартість реалізації проекту. Розглянемо основні витрати, які необхідно враховувати під час встановленні сонячної електростанції (СЕС):

- Перш за все, потрібно провести аналіз наявного обладнання на підприємстві та оцінити витрати електроенергії. Від цього буде залежати потужність електричної станції, адже чим більша потужність станції, тим більше потрібно буде встановити обладнання для реалізації. Це включає сонячні панелі, інвертори, мережі постійного та змінного струму, металоконструкції, система керування та вимоги до роботи СЕС.

- Перш ніж розпочати будівництво СЕС необхідно ретельно спланувати фінансову частину проекту та його рентабельність для підприємства. Це буде гарантувати ефективність та швидкість окупності інвестицій від виробництва електроенергії.

- Наступним чином, необхідно розробити проектні рішення для впровадження проекту. Під час цього етапу будуть враховані всі особливості, тип станції та місце розташування обладнання на підприємстві. Проектні рішення допоможуть зменшити витрати коштів на матеріали та значно економитимуть час на реалізацію проекту.

- Витрати на будівельно-монтажні роботи та пусконаладжувальні роботи, є значною складовою капітальних витрат. Від часу їх виконання та складності даних робіт буде впливати на вартість робіт та ефективності станції в майбутньому.

Будівництво сонячної електростанції є складним та відповідальним процесом, який вимагає детального планування та детального аналізу. Описані вище фактори, які впливають на вартість та ефективність роботи, включаючи аналіз існуючого обладнання на підприємстві, вартість

встановлення обладнання для СЕС, фінансове планування, розробку проектних рішень та витрати на будівельно-монтажні роботи, є критичним для успішної реалізації проекту.

3.3 Порівняння вартості обладнання для системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Для ефективного керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії важливо обрати відповідне обладнання для виконання керування та влаштування обмеження СЕС. У даній роботі розглянемо чотири варіанти обладнання, таких як:

1) Пристрій керування Smart Dongle-WLAN-FE

Пристрій керування Huawei WLAN-FE Dongle with Fast Ethernet призначений для зв'язку між системами керування сонячною електростанцією та інвертором/інверторами. Зовнішній вигляд пристрою керування Huawei WLAN-FE показано на рисунку 3.2. Він дозволяє отримувати та записувати поточні дані роботи інвертора, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів роботи всієї фотоелектричної системи. Пристрій підтримує підключення до 10 інверторів і сумісний з інверторами Huawei серій L1, M0, M1, M2 та M3. Модуль відзначається максимальною простотою у підключенні та використанні, працює як у бездротовому, так і в дротовому режимі, використовуючи стандарти передачі даних WLAN, Ethernet (10 Мбіт/с) та Fast Ethernet (100 Мбіт/с). Протокол безпеки запобігає несанкціонованому підключенню до мережі інвертора[9].

Huawei Wi-Fi Dongle with Fast Ethernet є компактним пристроєм для бездротового моніторингу та керування сонячною електростанцією, підтримуючи WLAN для передачі даних. Його легкий монтаж та можливість віддаленого моніторингу, а також сумісність з інверторами Huawei роблять його зручним вибором. Приблизна вартість пристрою становить 50-100 USD,

що робить його доступним для широкого кола користувачів. Перевагами є низька вартість, простота установки та зручний бездротовий зв'язок, хоча обмежена функціональність може бути недоліком у порівнянні з більш потужними системами.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд пристрою керування Smart Dongle-WLAN-FE та 4G.

2) Пристрій керування Huawei Smart Logger 3000A

SmartLogger 3000A є потужним пристроєм для моніторингу та керування сонячною електростанцією, підтримуючи до 80 інверторів одночасно. Зовнішній вигляд пристрою керування Huawei WLAN-FE показано на рисунку 3.3. Приблизна вартість становить 600-1100 USD. Цей логер здійснює конвертацію портів, перетворення протоколів, збирання та зберігання даних, а також централізовано контролює роботу інверторів як у промислових, так і в домашніх сонячних електростанціях[10].

SmartLogger 3000A найкраще підходить для промислових сонячних станцій завдяки можливості контролювати до 80 пристроїв одночасно. Він підтримує різні протоколи зв'язку, забезпечує розширені можливості зберігання та аналізу даних, а також реальний час моніторингу. Серед його

особливостей – підтримка стандарту RS485, що дозволяє підключатися до інверторів Huawei, PID модулів, приладів моніторингу навколишнього середовища, трансформаторних станцій та лічильників потужності з протоколом Modbus-RTU. Крім того, SmartLogger підтримує підключення до вимірювачів потужності з протоколом DL/T645 та пристроїв з протоколом IEC103.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд пристрою керування Huawei Smart Logger 3000A.

Пристрій також обладнаний інтерфейсом MBUS для підключення до сонячних інверторів Huawei та PID-PVBOX, які підтримують зв'язок MBUS. Для налаштування системи можна використовувати мобільний додаток через WLAN інтерфейс. SmartLogger підключається до систем управління, що використовують протоколи Modbus TCP та IEC104 через дротову або бездротову мережу.

Переваги SmartLogger 3000A включають високу надійність, розширені аналітичні можливості та підтримку великої кількості пристроїв. Основним недоліком є вища ціна в порівнянні з іншими пристроями.

3) Пристрій керування Encombi ECPV2

Комбінований контролер Encombi ECPV2 другого покоління для децентралізованих фотоелектричних установок з генераторними установками

або без них пропонує безліч нових функцій для різних варіантів підключення. Зовнішній вигляд пристрою керування Huawei WLAN-FE показано на рисунку 3.4. Є можливість підключення до інверторів, контролерів і лічильників електроенергії через RS-485 або TCP/IP, забезпечуючи повний контроль над експортом і власним споживанням електроенергії[11].



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд пристрою керування Encombi ECPV2.

ЕСrv2 дозволяє скорочувати споживання, коли ціни на енергію негативні, та ефективно використовувати генераторні установки, економлячи паливо в гібридних системах. Пристрій також підтримує вимірювачі потужності навантаження та аналогові датчики для збору даних про погоду або вимірювання палива.

Функціональність ЕСrv2 включає систему моніторингу та керування сонячними електростанціями з можливістю інтеграції з іншими системами та підтримкою різних протоколів зв'язку. Особливості пристрою охоплюють високий рівень персоналізації, підтримку модулів розширення та можливість віддаленого доступу. Приблизна вартість становить 2500 USD. Перевагами ЕСrv2 є висока гнучкість, підтримка різних конфігурацій та можливість персоналізації. Основними недоліками є висока ціна та потреба в додатковому налаштуванні.

4) Пристрій керування SCADA SolarPV

SCADA SolarPV система є важливою частиною фотоелектричної сонячної електростанції. Добре розроблена SCADA SolarPV система забезпечить робочу стабільність і надійність електростанції протягом її життєвого циклу. Система PV SCADA виконуватиме всі функції збору даних, моніторингу та керування електростанцією[12]. Уся необхідна інформація щодо поведінки процесу, приладу та контролера цілісності, послідовного керування та функції сигналізації має бути негайно доступною на пультах керування. Особливості SCADA SolarPV включають модульну та масштабовану архітектуру, що не залежить від виробника, що дозволяє керувати фотоелектричними установками різних типів та різних виробників[12].

SCADA SolarPV може обробляти великі обсяги даних та підтримує понад 2000 пристроїв, контролерів і моніторів, здатна обробляти 256 000 точок даних. Завдяки зручному графічному інтерфейсу оператори можуть легко виконувати свої завдання, маючи мінімальні знання комп'ютера.

Що стосується переваг, SCADA SolarPV має високу гнучкість у проектуванні системи та технології фотоелектричних систем, а також широку сумісність завдяки різноманітності інтерфейсів і протоколів. Вона дозволяє підключати і керувати декількома типами інверторів, знижуючи витрати на введення в експлуатацію та технічне обслуговування фотоелектричної електростанції.

У недоліках SCADA SolarPV слід відзначити високу вартість системи, яка може починатися від 20000 доларів. Це може зробити її менш доступною для деяких користувачів або проектів з обмеженим бюджетом. Така велика вартість може стати перешкодою для багатьох організацій або підприємств, що розглядають можливість впровадження системи управління сонячною електростанцією.

Таблиця 3.3 надає порівняльну інформацію про вартість та функції обговорених пристроїв.

Параметри	Smart Dongle-WLAN-FE	Smart Logger 3000A	Encombi ECPV2	SCADA SolarPV
Функціональність	Базовий бездротовий моніторинг	Розширений моніторинг та керування	Моніторинг та керування, персоналізація	Комплексна система керування
Підтримка протоколів зв'язку	WLAN	RS485, Ethernet, 4G	RS485, Modbus, Ethernet	Modbus, OPC, DNP3
Підтримка інверторів	До 10	До 80	До 100	Понад 100
Зберігання даних	Обмежене	Розширене	Розширене	Розширене
Віддалений доступ	Так	Так	Так	Так
Інтерфейс користувача	Базовий	Покращений	Деталізований	Персоналізований
Ціна (USD)	50-100	600-800	2500	Від 10000
Переваги	1)Низька вартість. 2)Простота установки. 3)Зручний бездротовий зв'язок.	1)Висока надійність. 2)Розширені аналітичні можливості. 3)Підтримка великої кількості пристроїв. 4) Розширені функції моніторингу	1)Висока гнучкість. 2)Підтримка різних конфігурацій. 3)Можливість персоналізації 4) Сумісність з різними виробниками інверторів та систем.	1)Висока гнучкість у проектуванні. 2)Широка сумісність з різноманітним обладнанням і протоколами. 3)Повний контроль системи керування.
Недоліки	1)Обмежений набір функцій 2)Обмежене керування через віддалений доступ	1) Вища ціна порівняно з smart dongle. 2)Складніше налаштування	1) Висока ціна. 2)Потреба в додатковому налаштуванні.	1)Найвища вартість. 2)Може бути недоступною для проектів з обмеженим бюджетом. 3) Складне налаштування та обслуговування

При виборі системи керування для сонячної електричної станції необхідно уважно аналізувати всі аспекти кожної пропозиції, оскільки вони можуть мати вирішальне значення для успішності проекту. Варто враховувати не лише цінову політику та функціональність обладнання, але й вимоги конкретного проекту, його розмір, потреби у моніторингу та управлінні, а також доступність технічних ресурсів для встановлення та обслуговування.

Висновок: У цьому розділі було проведено техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування сонячною електростанцією з точкою нульового експорту електроенергії. Проаналізовано основні засоби підтримки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел в Україні, розглянуто капітальні витрати на встановлення сонячних електростанцій та порівняно вартість обладнання для різних систем керування. Під час порівняння до уваги приймалися функціональні характеристики та вартість обладнання.

4 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

4.1 Аналіз споживання підприємства

У цьому пункті роботи проведемо детальний аналіз споживання підприємства електроенергії підприємством з метою визначення оптимальних параметрів для впровадження сонячної електростанції та площу покрівель на яких можна розташувати СЕС.

Підприємства стають все більш зацікавленими у використанні відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна енергія, для забезпечення своїх потреб у електроенергії, що створює необхідність у проведенні аналізу споживання та визначення оптимальних рішень щодо впровадження ФЕС.

Для даного проекту розглядається сучасний комплекс з виробництва яєць і яєчних продуктів. Він розташований у Кам'янець-Подільському районі Хмельницькій області, яка знаходиться в західній частині України. Місцезнаходження підприємства позначено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Місцезнаходження підприємства.

Кам'янець-Подільський район є одним із найбільших розвинених агропромислових районів області. Область славиться своєю плідною землею та сприятливим кліматом для сільськогосподарських культур. Сам комплекс розташований у зручній локації з точки зору транспортних комунікацій, що сприяє легкому доступу до сировини та ринків збуту.

Підприємство з закритим циклом виробництва складається, зокрема, зі складського приміщення, цехи по забою курей потужністю 6 тис. голів на годину, лінії з сортування та упаковок яйця на 360 тис. шт. на годину і комбікормового заводу потужністю 60 тонн кормів на годину. Комплекс має потребу у значному обсягах електроенергії, яка становить 2 МВт-год на годину[13].

Підприємство складається з різних виробничих одиниць, які потребують значних обсягів електроенергії для свого функціонування та виробничих процесів. Включає складське приміщення для зберігання сировини та готової продукції, цехи забою курей, лінії сортування та упаковки яєць, комбікормовий завод та допоміжні приміщення та обладнання. Всі ці виробничі одиниці потребують значних обсягів електроенергії для свого функціонування та автоматизованих процесів, таких як освітлення, вентиляція, системи управління та інші, що вимагають електричної енергії. Загальна площа будівель складає- 37 670,84 м².

Для розрахунку потужності сонячної електричної станції потрібно визначити навантаження споживачів. Дані про споживання електроенергії підприємства були отримані шляхом моніторингу та вимірювань, здійснених безпосередньо на об'єкті протягом певного періоду часу. Ці дані доступні завдяки системі обліку електроенергії, яка встановлена на підприємстві та регулярно збирає інформацію про споживання електроенергії. Завдяки цих даним можна буде одержати діаграму навантаження підприємства роботу протягом дня, місяця, року. В таблиці 4.1 та 4.2 вказано споживання підприємства протягом дня, місяця, року в різні періоди року.

Таблиця 4.1 – Середньодобове споживання електроенергії підприємством.

Години	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
Січень	1452	1372	1296	1244	1218	1287	1340	1385
Лютий	1362	1275	1203	1149	1156	1233	1319	1333
Березень	1553	1480	1394	1333	1327	1362	1473	1453
Квітень	1651	1585	1488	1419	1414	1422	1566	1531
Травень	1724	1664	1562	1494	1462	1455	1585	1538
Червень	1724	1664	1562	1494	1462	1455	1585	1538
Липень	1615	1545	1451	1382	1389	1405	1557	1527
Серпень	1903	1859	1765	1709	1657	1644	1713	1666
Вересень	1653	1587	1471	1391	1340	1315	1484	1421
Жовтень	1289	1190	1118	1045	1171	1256	1474	1494
Листопад	1127	1019	975	943	932	1055	1057	1100
Грудень	1289	1205	1156	1124	1118	1251	1238	1265
Години	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
Січень	1526	1514	1550	1532	1502	1682	1739	1709
Лютий	1485	1478	1530	1548	1528	1625	1693	1709
Березень	1592	1559	1571	1564	1577	1627	1711	1727
Квітень	1656	1623	1614	1598	1629	1672	1760	1771
Травень	1679	1634	1624	1581	1593	1621	1727	1730
Червень	1679	1634	1624	1581	1593	1621	1727	1730
Липень	1644	1618	1609	1606	1647	1698	1777	1791
Серпень	1777	1645	1572	1501	1591	1591	1682	1679
Вересень	1615	1638	1691	1636	1541	1574	1721	1721
Жовтень	1540	1570	1565	1681	1809	1928	1927	1972
Листопад	1305	1276	1358	1380	1349	1449	1490	1516
Грудень	1438	1393	1485	1509	1437	1490	1589	1629
Години	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
Січень	1720	1809	1721	1658	1596	1505	1562	1439
Лютий	1729	1728	1684	1562	1517	1443	1425	1368
Березень	1783	1851	1842	1806	1789	1694	1643	1578
Квітень	1853	1961	1958	1959	1941	1832	1760	1685
Травень	1836	1988	2025	2040	2024	1913	1847	1762
Червень	1836	1988	2025	2040	2024	1913	1847	1762
Липень	1861	1947	1924	1919	1900	1791	1716	1647
Серпень	1739	1946	1946	2145	2228	2086	2054	1950
Вересень	1908	2072	2204	2056	1943	1861	1771	1690
Жовтень	1937	1824	1623	1555	1528	1427	1324	1300
Листопад	1497	1438	1386	1215	1210	1162	1180	1151
Грудень	1583	1495	1488	1324	1307	1260	1286	1258

У таблиці 4.1 наведено дані середньодобове споживання електроенергії в певні години роботи протягом доби. Літній період характеризується піком навантаження через використання електроенергії для охолодження приміщень за допомогою вентиляції. Найбільше споживання виділено червоним кольором, а найменше — синім. На основі даних з таблиці 4.1 побудуємо середньодобову діаграму навантаження, що зображена на рисунку 4.2.

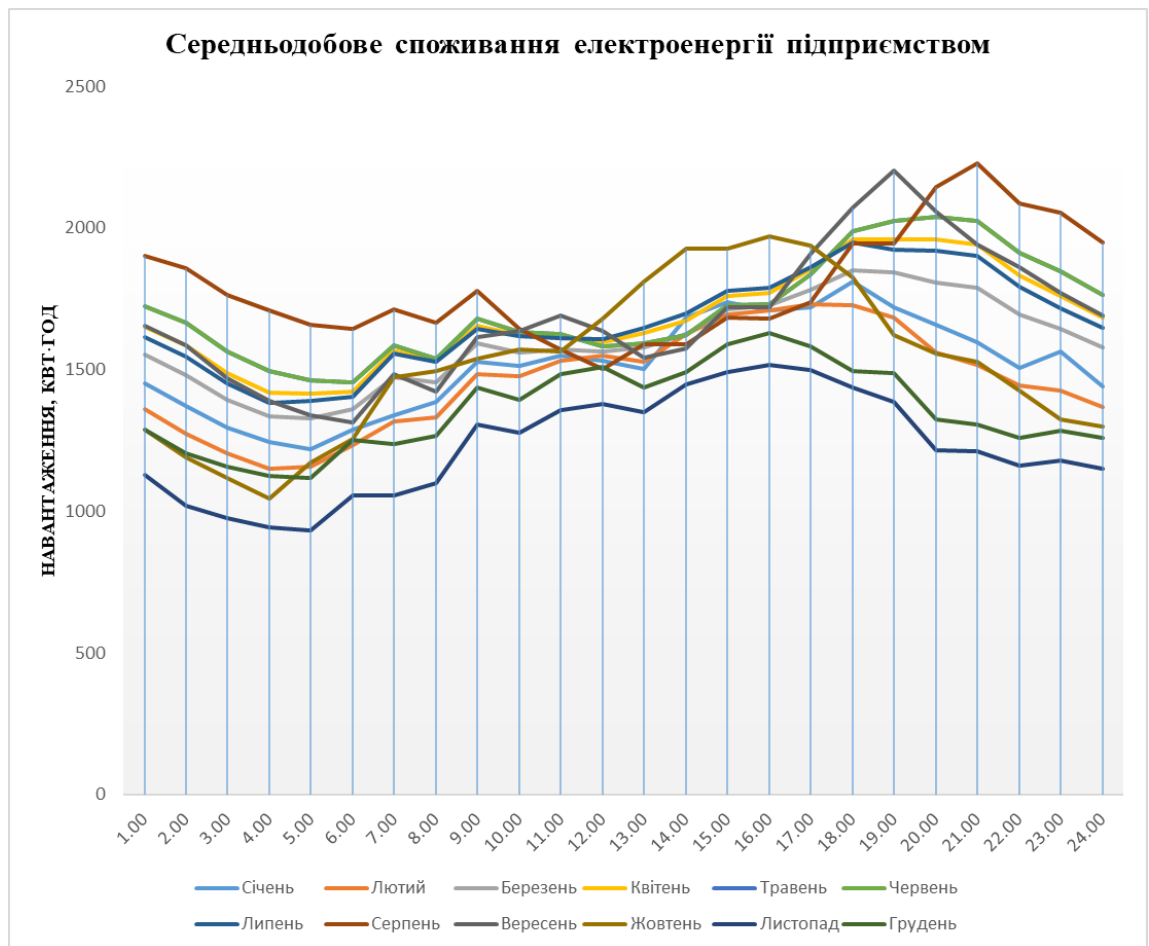


Рисунок 4.2 – Навантажувальна діаграма середньодобового споживання електроенергії підприємством.

На основі середньодобового споживання електроенергії можна обчислити сумарне середньодобове споживання, а також середньомісячне та річне споживання. Отримані дані будуть внесені до таблиці 4.2. Це дозволить

краще зрозуміти варіації в споживанні електроенергії протягом року та врахувати їх при плануванні СЕС.

Таблиця 4.2 – Сумарне середньодобове, середньомісячне та річне споживання електроенергії на основі середньодобових даних.

Місяць	Середньодобове споживання, МВт*год	Середньомісячне споживання, МВт*год	Річне споживання, МВт*год
Січень	36,36	1127,10	13862,99
Лютий	35,08	1017,30	
Березень	38,29	1186,99	
Квітень	40,35	1210,39	
Травень	41,11	1274,29	
Червень	41,11	1233,18	
Липень	39,97	1238,96	
Серпень	43,05	1334,49	
Вересень	40,30	1209,12	
Жовтень	36,55	1132,96	
Листопад	29,57	887,10	
Грудень	32,62	1011,13	

Використовуючи дані з таблиці 4.2, ми можемо побудувати навантажувальну діаграму підприємства протягом року, представлену на рисунку 4.3. Ця діаграма дозволить наочно оцінити зміни в споживанні електроенергії протягом року та ідентифікувати періоди пікового навантаження.



Рисунок 4.3 – Навантажувальна діаграма споживання електроенергії підприємством протягом року.

4.2 Розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst.

Розрахунок конфігурації СЕС та очікуваної генерації електричної енергії СЕС виконаємо за допомогою програмного комплексу PVsyst.

PVsyst - це програмний інструмент, для моделювання та аналізу фотоелектричних (сонячних) систем (ФЕС). Вона дозволяє розраховувати потенційну генерацію електричної енергії сонячними панелями в залежності від різних параметрів, таких як географічне положення, кліматичні умови, характеристики модулів та інверторів тощо[14].

PVsyst відомий своєю точністю моделювання та гнучкістю моделювання різних типів СЕС. Інтерфейс програмного забезпечення представлений на рисунку 4.4.

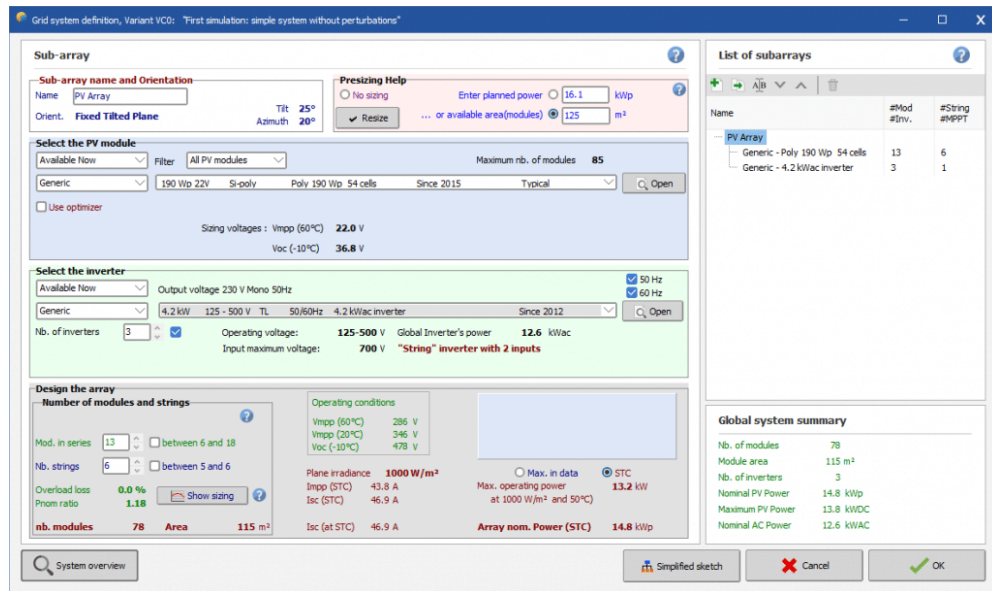


Рисунок 4.4 – Інтерфейс програмного забезпечення PVsyst.

Він має ряд переваг у використанні його роботи, а саме:

1) Деталізовані дані про станцію: програма дозволяє додавати коректні дані про майбутню сонячну електростанцію. Це можуть бути як тип станції, фотоелектричні модулі, інвертори, оптимізатори, кут нахилу ФЕМ, місце розташування, кліматичні умови, електричне навантаження.

2) Розширенні параметри для проектування: PVsyst пропонує розширенні параметри для проектування сонячних електростанцій. Це включає в себе як вибір та перевірка правильності конфігурації, врахування втрат в провідниках, розробка 3D моделювання, врахування затінення від інших об'єктів, прогнозування виробництва електроенергії сонячною електростанцією.

Серед недоліків програмного середовища можна відзначити :

1) Складність використання: програма має велику кількість функцій та параметрів для розрахунку такий вибір потребує глибоких знань у сфері сонячної енергетики та може бути складним для деяких користувачів.

2) Відсутні можливість моделювання роботи з гібридними інверторами та системами накопичення електроенергії.

3) Вартість ліцензії: програмне забезпечення PVsyst не є

безкоштовним. Це означає, що користувачам потрібно придбати ліцензію для його використання. Вартість ліцензії може бути значною, що може становити проблему для тих, хто має обмежений бюджет або працює над невеликими проектами.

Незважаючи на ці недоліки, PVsyst залишається одним з найпопулярніших та потужних інструментів для моделювання сонячних електростанцій, який широко використовується у сфері відновлювальних джерел енергії.

Для даного проекту виконає розрахунок конфігурації сонячних панелей. Для моделювання будемо використовувати фотоелектричні модулі від компанії Jinko Solar JKM570N-72HL4, 570W та мережеві інвертори від компанії Huawei SUN2000-100KTL-M2 так як наша електростанція буде працювати в режимі компенсації власний витрат електроенергії підприємства з точкою нульового експорту електроенергії.

Для початку роботи моделювання необхідно задати географічні координати місця розташування об'єкту. Далі потрібно обрати спосіб кріплення панелей та орієнтацію розташування фотоелектричних модулів. Наша сонячна електростанція буде мати фіксоване положення. Фотоелектричні модулі будуть розташовуватися на покрівлі під існуючим кутом, який становить 12 градусів та азимут розташування 45 градусів.

За допомогою даного інструменту, що вказано на рисунку 4.5, можна підібрати оптимальну орієнтацію та азимут ФЕМ. Під час встановлення підбору, ми можемо знайти оптимальну орієнтацію або оцінити втрати енергії, якщо орієнтація не є оптимальною. Це визначається за допомогою коефіцієнту транспозиції який відображає співвідношення між випромінюванням, яке падає на поверхню, та горизонтальним випромінюванням, що вказує, скільки сонячної енергії отримується або втрачається при нахилі поверхні панелі. Вводимо необхідні параметри з наших умов встановлення вказаних вище.

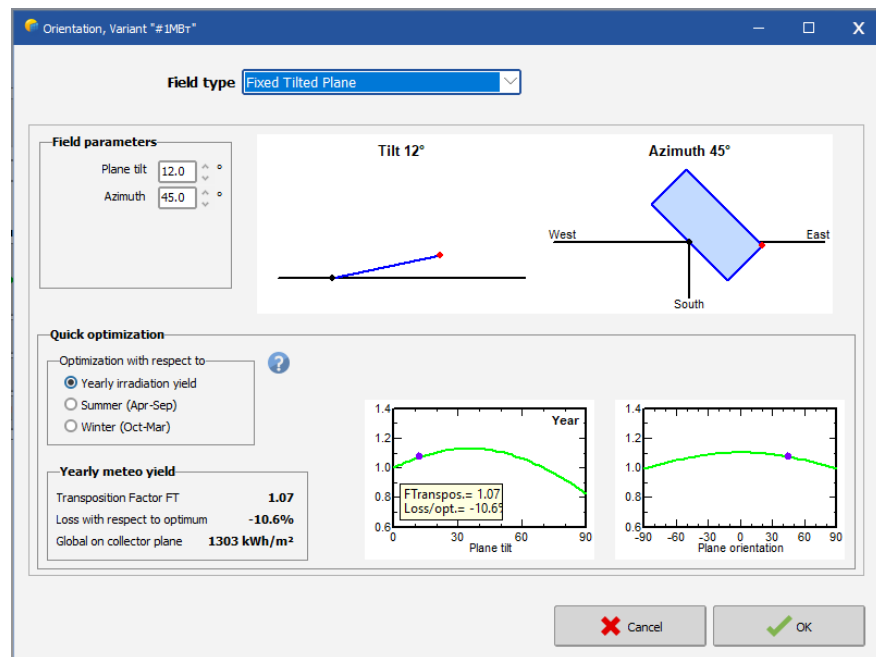


Рисунок 4.5 – Встановлення орієнтації ФЕМ для нашої системи.

Після встановлення орієнтації далі є необхідність підбору кількості ФЕМ та інверторів. Програма враховує всі витрати енергії, пов'язаних з перетворення енергії з постійного струму від ФЕМ, у енергію змінного струму, а також втрати електричної енергії від інвертора до споживача. Площа яку можна задіяти на одній покрівлі відповідає 3248,84 м², але ми будемо використовувати скат покрівлі який розташований на південь тобто 1624,42 м² (без врахування існуючих перешкод). Площа одного фотоелектричного модуля становить 2,583 м². На одній покрівлі без врахування перешкод можна розташувати 628 панелей.

Відповідно обраної конфігурації, що показана на рисунку 4.6, та її коректність роботи, ми встановлюємо на одній покрівлі по 432 фотоелектричних модуля, кожен з яких має потужністю одного модуля 570 Вт. Загальна потужність системи буде відповідати встановленню двох інверторів Huawei SUN2000-100KTL-M2 в конфігурації на один інвертор 216 модулів. Система для кожного інвертора буде складатися з 12 блоків (стрінгів) по 18 панелей в блок (стрінг) сумарною потужністю по модулях

123,12 кВт(пік). Максимальна потужність на вихідних клеммах інвертора при цьому становить 100 кВт (розрахункова потужність інвертора).

The screenshot displays the 'Grid system definition' software interface, specifically the 'Sub-array' configuration window. The interface is divided into several sections:

- Sub-array name and Orientation:** Name is 'PV Array', Orientation is 'Fixed Tilted Plane', Tilt is 12°, and Azimuth is 45°.
- Select the PV module:** Filter is 'All PV modules', Manufacturer is 'JinkoSolar', Model is 'JKM570N-72HL4-V', and Sizing voltages are Vmpp (60°C) 37.3 V and Voc (-10°C) 54.9 V.
- Select the inverter:** Output voltage is 400 V Tri 50Hz, Inverter is 'Huawei Technologies SUN2000-100KTL-M2-400VAC', and Global Inverter's power is 1000 kWac.
- Design the array:** Number of modules and strings is 18 modules in series and 120 strings. Operating conditions show Vmpp (60°C) 672 V, Vmpp (20°C) 763 V, Voc (-10°C) 988 V, and Plane irradiance 1000 W/m².
- Global system summary:** Nb. of modules 2160, Module area 5580 m², Nb. of inverters 10, Nominal PV Power 1231 kWp, Nominal AC Power 1000 kWAC, and Pnom ratio 1.231.

Buttons at the bottom include 'System overview', 'Single-line diagram', 'Cancel', and 'OK'.

Рисунок 4.6 – Параметри системи та обладнання.

Збільшення відношення DC/AC – «перевантаження», використовується для того, щоб максимально використати встановлену потужність інвертора. Це застосовується тому, що фотоелектричні рідко генерують максимум своєї потужності на це впливають такі фактори, як опроміненість, температура комірки ФЕМ та азимут. Ефект від збільшення відношення DC/AC, можемо побачити в рисунку 4.7.

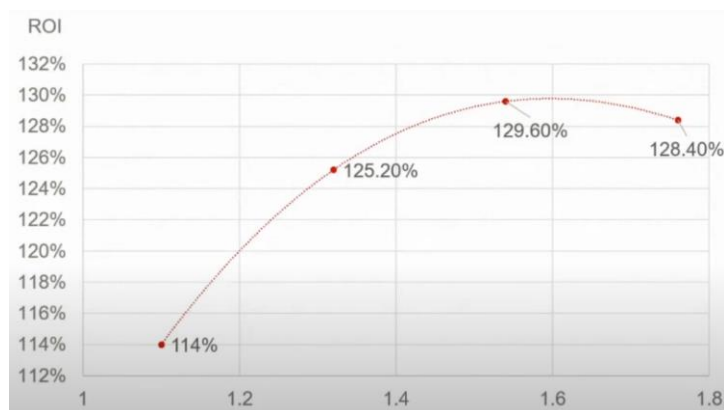


Рисунок 4.7 – Залежність ROI від відношення DC/AC.

Залежність ROI (повернення інвестицій) від відношення DC/AC полягає в тому, що чим вище це відношення, тим ефективніше використання сонячної енергії та вищий потенціал прибутковості проекту. Відношення DC/AC визначає ефективність перетворення постійного струму (DC) в змінний струм (AC) у сонячних електростанціях.

Після перевірки конфігурації проводимо моделювання роботи станції. Результатом моделювання буде звіт який покаже дані про генерацію СЕС протягом року, які можна побачити в таблиці 4.3.

Загальна генерація за рік склала 1364,2 МВт*год/рік. З розрахунку генерації видно, що пік генерації літом коли максимальна сонячна радіація, для вибраної будівлі це добре, оскільки найбільше споживання також літом, це дозволить зрізати піки навантаження.

Таблиця 4.3 – Генерація СЕС протягом року

Місяць	Earray, MWh	E_Grid, MWh	PR, ratio
Січень	44,2	42,9	0,936
Лютий	60,9	59	0,929
Березень	115,8	111,9	0,899
Квітень	151,1	145,6	0,863
Травень	186	179	0,845
Червень	190,5	183,5	0,837
Липень	198,2	190,9	0,827
Серпень	177,2	170,8	0,836
Вересень	125	120,6	0,857
Жовтень	85,5	82,9	0,893
Листопад	43,9	42,6	0,912
Грудень	35,5	34,5	0,928
За рік	1413,7	1364,2	0,860

Також у результатах звіту, можна отримати графіки щомісячної генерації та коефіцієнт продуктивності (Performance Ratio, PR), який представлений на рисунку 4.8. Коефіцієнт продуктивності відображає ефективність фотоелектричної системи, враховуючи вплив втрат через різні

фактори, такі як температура, затінення та втрати у провідниках. PR є важливим для оцінки загальної ефективності системи та порівняння її продуктивності з іншими системами.

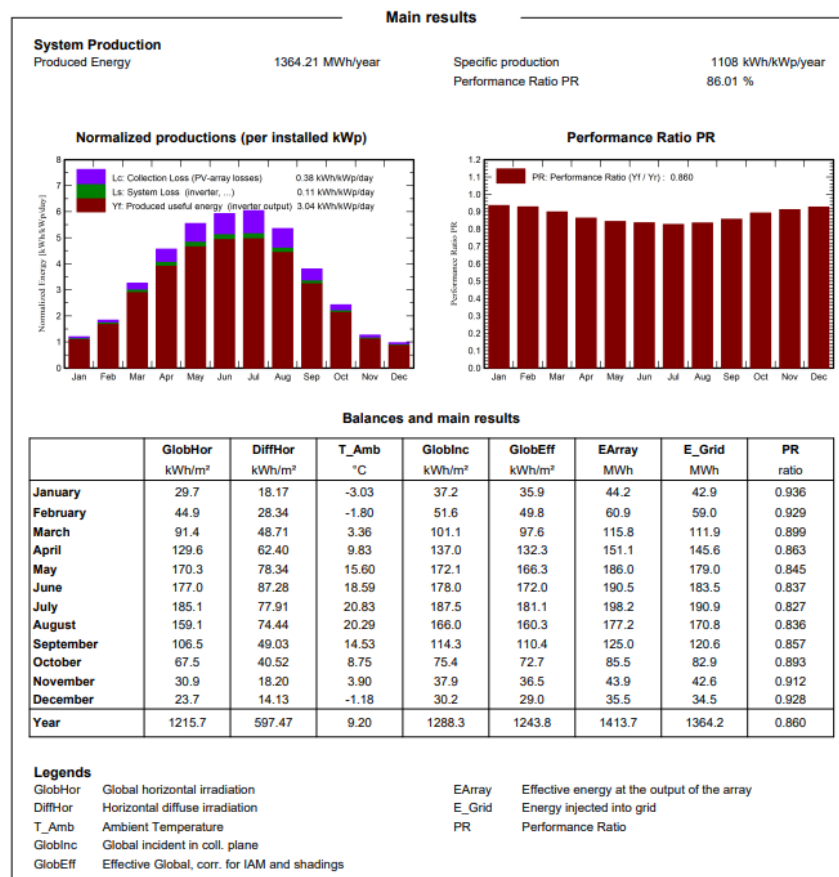


Рисунок 4.8 – Графіки щомісячної генерації та коефіцієнт продуктивності.

4.3 Вибір фотоелектричних модулів

Сонячні панелі, також відомі як фотоелектричні модулі, є пристроями, що перетворюють сонячну енергію на електричну. Вони складаються з безлічі сонячних елементів (фотоелементів), які з'єднані між собою і захищені спеціальним корпусом, зазвичай виготовленим з алюмінію та скла. Фотоелементи виготовляються з напівпровідникових матеріалів, найчастіше з кремнію, який має здатність генерувати електричний струм під впливом сонячного світла[15]

Розрізняють 3 типа фотоелектричних панелей таких як:

Тонкоплівкові панелі мають гнучку основу і містять значно менше кремнію, ніж традиційні варіанти – приблизно в 50-100 разів менше. В основі таких панелей можуть бути різні матеріали, такі як аморфний кремній, диселенід індію та міді, або телурид кадмію.

Монокристалічні панелі складаються з монокристалічних кремнієвих фотомодулів, де кожен елемент виготовлений з єдиного, однорідного кристала кремнію. Це забезпечує високу ефективність і довговічність.

Полікристалічні панелі використовують полікристалічні кремнієві модулі, які містять велику кількість різнорідних кристалів кремнію з невеликим вмістом домішок. Це робить їх менш ефективними порівняно з монокристалічними панелями, але вони дешевші у виробництві.

Розглянемо порівняльну таблицю різних типів фотоелектричних панелей, яку наведено в таблиці 4.4.

Характеристики панелей	Тонкоплівкові	Монокристалічні	Полікристалічні
ККД	12%	25%	20%
Вартість	низька	висока	середня
Термін експлуатації	до 3-х років	25-25 років	20 років
Вага	найлегші	найважчі	середня
Потреба в площі	Більша площа для тієї ж потужності	Менша площа для тієї ж потужності	Середня площа для тієї ж потужності
Температурний коефіцієнт	Вищий (гірша продуктивність при високих температурах)	Нижчий (краща продуктивність при високих температурах)	Середній
Деградація з часом	висока	низька	середня
Сфера застосування	(для дому)	(для дому / промислові)	(промислові стаціонарні)
Вартість виробництва	низька	висока	середня

Згідно з попередніми розрахунками в програмі PVsyst, було обрано монокристалічні фотоелектричні модулі від виробника Tier 1, а саме Jinko Solar JKM570N-72HL4 з потужністю 570 Вт. Характеристики фотоелектричних модулів, використаних у цьому проєкті, наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Основні параметри фотоелектричних модулів типу JKM570N-72HL4 (компанії Jinko Solar).

Механічні характеристики		
Кількість комірок	144 (6×24)	
Розмір	2278×1134×35mm	
Вага	27 kg	
Переднє скло	3,2 мм, антиблікове покриття, Висока пропускну здатність, низький вміст заліза, загартоване скло	
Рамка	Анодований алюмінієвий сплав	
Розподільча коробка	Оцінка IP68	
Вихідні кабелі	TUV 1×4,0 мм2 (+): 400 мм, (-): 200 мм або індивідуальна довжина	
Електричні характеристики		
Параметри	STC*	NOCT**
Максимальна потужність (Pmax)	575 Вт	432 Вт
Максимальна напруга (Vmp)	42.22 В	39.60 В
Максимальний струм (Imp)	13.62 А	10.92А
Напруга холостого ходу (Voc)	50.88 В	48.33 В
Струм короткого замикання (Isc)	14.39 А	11.62 А
ККД модуля STC (%)	22.26 %	
Робоча температура	-40°C~+85°C	
Температурний коефіцієнт Voc	-0.25%/°C	
Температурний коефіцієнт Isc	0.045%/°C	
Номінальна робоча температура елемента	45±2°C	

*— STC – номінальні характеристики фотоелектричного модуля (Стандартні технічні умови) при температурі фотоелектричного елемента 25° С, сонячній радіації 1000 Вт/м².

**— NOCT – робоча характеристика фотоелектричного модуля при температурі повітря 20° С, сонячна радіації 800 Вт/м².

Зовнішній вигляд фотоелектричного модулю зображено на рисунку 4.9

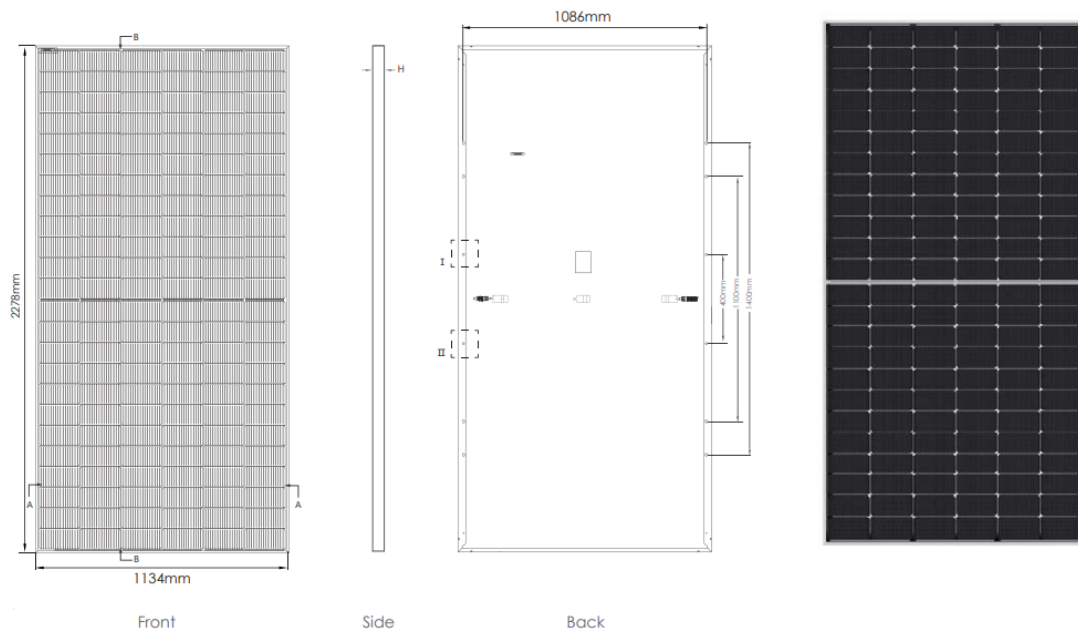


Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд фотоелектричного модулю Jinko Solar JKM570N-72HL4.

Ці панелі відзначаються високою ефективністю та надійністю, що забезпечує стабільну продуктивність протягом тривалого періоду експлуатації. Вибір саме цього виробника та моделі обґрунтований його репутацією на ринку та технічними характеристиками, що оптимально відповідають вимогам даного проєкту. Завдяки інноваційним технологіям, використаним у виробництві цих панелей, досягається максимальне перетворення сонячної енергії в електричну.

4.4 Вибір інвертора

Згідно попереднього розрахунку в програмному середовищі PVsyst , було обрано інвертори Huawei SUN2000-100KTL-M2. Це потужні та надійні пристрії, спеціально розроблений для сонячних енергетичних систем великого масштабу. Завдяки своїй продуманій конструкції та високим технічним характеристикам, ці інвертори забезпечують ефективну роботу системи та максимальне використання отриманої сонячної енергії.

Інвертори Huawei SUN2000-100KTL-M2 мають низький рівень втрат при перетворенні постійного струму (DC) у змінний струм (AC), що дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію. Вбудовані системи захисту гарантують безпеку та надійність роботи системи в будь-яких умовах експлуатації[17]. Зовнішній вигляд інвертора зображено на рисунку 4.10



Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M2.

Основні вимоги до вибору інвертора для сонячної енергетичної системи:

Відповідність потужності: інвертор повинен відповідати загальній потужності сонячних панелей. Це включає як максимальну потужність, яку можуть генерувати панелі, так і номінальну потужність інвертора.

Ефективність: високий коефіцієнт корисної дії (ККД) інвертора забезпечує мінімальні втрати при перетворенні постійного струму (DC) в змінний струм (AC). Ідеальний ККД для сучасних інверторів знаходиться в межах 95-99%.

Сумісність з панелями: інвертор повинен бути сумісний з типом і моделлю сонячних панелей. Це включає відповідність напруги і струму, що генерується панелями, параметрам інвертора.

Надійність та довговічність: інвертор повинен мати високу надійність і тривалий термін служби. Варто звернути увагу на гарантійні умови та репутацію виробника.

Системи захисту: інвертор повинен мати вбудовані системи захисту від перевантаження, перегріву, короткого замикання та інших можливих проблем, що можуть виникнути під час експлуатації.

Сертифікації та відповідність стандартам: інвертор повинен мати всі необхідні сертифікації і відповідати міжнародним та національним стандартам безпеки і якості.

Гнучкість та масштабованість: інвертор повинен бути здатен інтегруватися в систему, що може розширюватися в майбутньому, забезпечуючи легкість модернізації та підключення додаткових панелей.

Температурний діапазон роботи: інвертор повинен ефективно працювати в кліматичних умовах, характерних для місця встановлення системи.

Основні технічні параметри для інверторів Huawei SUN2000-100KTL-M2 показано в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Основні параметри інвертора типу SUN2000-100KTL-M2

№ З/П	Найменування показника	Показник
1	Робочий діапазон MPPT, Вт	200...1000
2	Максимальний струм на кожен MPPT, А	30
3	Макс. струм короткого замикання на MPPT	40
4	Початкова напруга, В	200
5	Кількість MPPT трекерів, шт	10
6	Макс вхідний номер на MPPT трекерів, шт	2
7	Номінальна потужність, кВт	100
8	Максимальна потужність, кВт	110
9	Номінальна напруга, В	400
10	Номінальна частота, Гц	50/60

Продовження таблиці 4.6 Основні параметри інвертора типу SUN2000-100KTL-M2

11	Максимальний к.к.д	98,6%
12	Температура навколишнього середовища,	-25...+60
13	Габаритні розміри (LxWxH), мм	1035x700x365
14	Вага, кг	93

Маючи параметри фотоелектричних модулів та інвертора можемо перевірити попередній розрахунок в програмному забезпеченні PVsyst, а саме кількість приєднаних панелей до одного інвертора.

Для початку проведемо розрахунок максимального струму, який може бути підключений до одного ММРТ, розрахуємо його за формулою 4.1:

$$I_{sc(Tr)} = I_{sc} \left(1 + (Tr - 25) \frac{\alpha_T}{100} \right), \quad (4.1)$$

де $I_{sc}(Tr)$ - значення струму при температурі 85 ° C;

I_{sc} - значення струму в умовах STC, вказане в характеристиці модуля(14,39)

Tr - мінімальна робоча температура (85 ° C);

α_T - температурний коефіцієнт модуля (-0,045% / K).

Отже:

$$I_{sc(Tr)} = 14,39 \cdot \left(1 + (85 - 25) \cdot \frac{0,045}{100} \right) = 14,77 (A).$$

З розрахунку видно, що для інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M2 потужністю 100 кВт на один вхід трекера не рекомендується встановлювати більш 2-х паралельно з'єднаних фотоелектричних панелей. Оскільки при паралельному підключенні струми сумуються.

На відміну від струму, який генерується фотоелектричною панеллю, напруга збільшується при зниженні температури панелі. Ми розраховуємо це для екстремально низької температури батареї, що дорівнює -25° C.

Теоретично, при подальшому зниженні температури, напруга матиме тенденцію зростати, проте на практиці взимку майже неможливо досягти температури на сонячному модулі нижче -25°C за умов нормального освітлення, необхідного для початку генерації енергії. При розрахунку максимальної напруги ми враховуємо напругу холостого ходу та температурний коефіцієнт β_T .

Значення максимальної напруги розраховую за формулою 4.2

$$U_{oc(Tr)} = U_{oc} \left(1 + (Tr - 25) \frac{\beta_T}{100} \right), \quad (4.2)$$

де $U_{oc}(Tr)$ - значення напруги при температурі -25°C ;

U_{oc} - напруга холостого ходу (42,22 В);

Tr - мінімальна робоча температура (25°C);

β_T - температурний коефіцієнт модуля ($-0,29\% / \text{K}$).

Отже:

$$U_{oc(Tr)} = 42,22 \cdot \left(1 + (-25 - 25) \cdot \left(\frac{-0,29}{100} \right) \right) = 48,34 \text{ (В)}.$$

Грунтуючись на цьому значенні, ми підрахуємо кількість модулів в стрінгах, з'єднані послідовно визначаємо за формулою 4.3:

$$N_{\max} \leq \frac{U_{DC \max}}{U_{oc(Tr)}}, \quad (4.3)$$

де $U_{DC \max}$ - максимально допустиме значення напруги на вході інвертора.

Отже:

$$N_{\max} \leq \frac{1000}{48,34} = 20,68 \text{ (шт)}.$$

Округляючи до цілого числа в меншу сторону, отримуємо, що в один стрінг можна встановити до 20 фотоелектричних панелей.

Проведемо розрахунок найменшої кількості фотоелектричних модулів з урахування допустимої пускової напруги інвертора. Інвертор має мінімальну напругу на вході, в нашому випадку це 200 В. Модулі досягають мінімальної робочої напруги при граничній температурі 85°C. Тому мінімальна кількість панелей у стрингах розраховується для цієї температури з округленням в більшу сторону. Для цього використовуються формули 4.3 та 4.4:

$$U_{oc(T_{max})} = U_{oc} \left(1 + (T_{max} - 25) \frac{\beta_T}{100} \right), \quad (4.3)$$

$$N_{min} \leq \frac{U_{DCstart}}{U_{OC(T_{max})}}, \quad (4.4)$$

де $U_{oc(T_{max})}$ - напруга при максимальній температурі 85 ° C;

U_{oc} - напруга холостого ходу (50,74 В);

T_{max} - максимальна робоча температура (75 ° C);

β_T - температурний коефіцієнт модуля (-0,29% / K);

N_{min} - мінімальна кількість сонячних батарей;

$U_{DCstart}$ - Подається початкова напруга (200 В).

$$U_{oc(T_{max})} = 50,74 \cdot \left(1 + (75 - 25) \cdot \frac{-0,29}{100} \right) = 43,3 \text{ (В)}.$$

$$N_{min} \geq \frac{200}{43,3} = 4,61.$$

Приймаючи найближче ціле значення в більшу сторону, рекомендується встановлювати не менше 5 модулів у один стринг. Інвертор має оптимальний діапазон напруги для роботи МРР трекера, який у нашому випадку становить 200-1000 В.

Також виконують перевірку сумарної кількості фотоелектричних моделей з урахуванням номінальної потужності інвертора

Зазвичай виробники рекомендують підключати до інвертора фотоелектричні із сумарною потужністю в межах 0,8-1,3 від номінальної вихідної потужності інвертора для оптимальної роботи. Якщо інвертор має номінальну вихідну потужність $P_{AC} = 100000$ Вт, то оптимальна сумарна потужність фотоелектричних модулів має бути в діапазоні 80 000 – 130 000 Вт. Таке відношення називається DC/AC або “перевантаження”.

Враховуючи все вищезазначене та проведені розрахунки, на один вхід МРРТ буде підключено 18 фотоелектричних модулів. У цьому випадку струм становитиме 14,77 А, а сумарна напруга – 757,26 В. Це значення напруги є оптимальним, як показано на рисунку 4.11. До одного інвертора, з урахуванням співвідношення DC/AC, буде підключено 12 блоків по 18 фотоелектричних модулів, що відповідає попереднім розрахункам за допомогою PVsyst. Це призведе до "перевантаження" на 23,12% від номінальної потужності інвертора, що відповідає всім вимогам вибору інвертора. Генеральний план розташування сонячної електричної станції з розташуванням обраних покрівель для розташування фотоелектричних моделей показано в додатку Б.

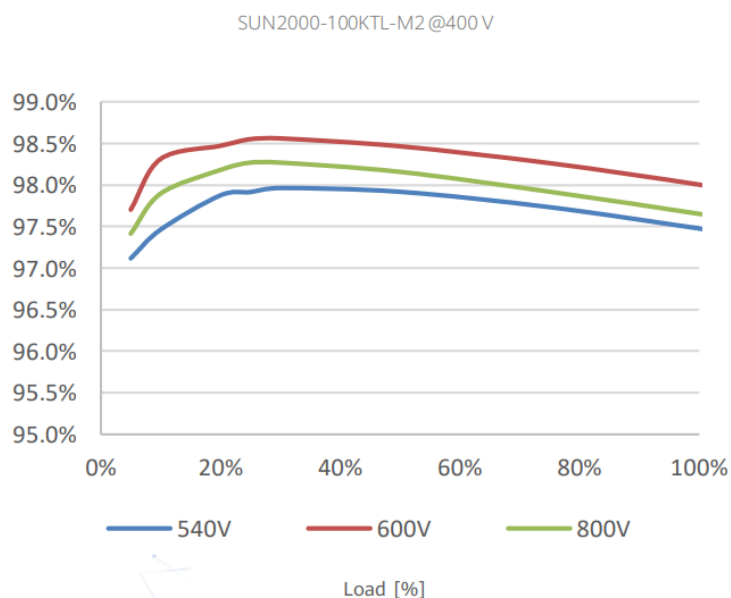


Рисунок 4.11 – Крива ефективності значення напруги в стрінгові.

4.5 Вибір пристроїв керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

У пункті розглядається вибір пристроїв керування для сонячної електричної станції з точкою нульового експорту електроенергії. Основна мета цього вибору полягає в забезпеченні оптимальної ефективності та безперебійної роботи станції, що дозволить знизити втрати енергії та забезпечити максимальне використання виробленої сонячної електроенергії. Для досягнення цієї мети необхідно уважно відібрати пристрої керування, які забезпечать оптимальну роботу системи з точкою нульового експорту електроенергії.

Оскільки наша система керування передбачає роботу сонячної електричної станції з точкою нульового експорту електроенергії для організації цієї системи обираємо реєстратор даних Smart Logger 3000a без PLC. Оскільки станція має значні розміри, використання промислового пристрою для моніторингу та контролю роботи інверторів є необхідним. Smart Logger 3000a має достатню кількість входів для підключення інверторів у декілька груп. Цей пристрій також забезпечує точний збір даних про виробництво електроенергії та її споживання, а також має можливість виконувати різноманітні функції моніторингу та діагностики, що робить його ідеальним рішенням для великих сонячних електростанцій.

Для забезпечення керування сонячною електричною станцією в умовах нормального та аварійного режимів, включаючи паралельну роботу з дизельними генераторами та використання обмеження експорту електроенергії та підключення до мережі з двох незалежних вводів. Дана системи керування для забезпечення всіх поставлених завдань повинна здійснюватися за допомогою зовнішнього контролера, адже в робота Smart Logger 3000a не передбає такої функції роботи. Тому для узгодженні всіх поставлених задач оберемо пристрій керування EnCombi Controllor ECcube2 L. EnCombi Controllor ECcube2 L є відмінним вибором для таких потреб,

оскільки він забезпечує не лише керування електроенергією в умовах нормальної та аварійної роботи, але і координує паралельну роботу сонячної станції з дизельними генераторами. Крім того, цей контролер може ефективно обмежувати експорт електроенергії та керувати підключенням до мережі з двох незалежних вводів, забезпечуючи стабільну та безперебійну роботу сонячної електричної станції в різних умовах експлуатації. Зовнішній вигляд зовнішнього пристрою керування зображено на рисунку 4.12.



Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд системи керування controller
EnCombi ECcube2 L.

Налаштування контролеру мають можливість різноманітного налаштування та зчитування інформації. Технічні дані про даний контролер продемонстровано в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Основні параметри контролера EnCombi ECcube2 L.

Номінальна напруга, U	115 / 230VAC Phase - Neutral
Номінальна частота, fn	50 / 60Hz
Номінальний струм, In	1 A
Заземлення системи	TN or TT
Розмір, HxBxD	400x400x210mm
Вага	11 kg
Ступінь вологозахисту	IP66 (IP65 with ECpanel7)
Комутаційні порти	2 x RS485 4 x Ethernet RJ45

Крім того, для пристрою керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії також необхідно отримувати інформацію щодо підключення до різних джерел живлення та моніторингу стану мережі в певних точках. Для реалізації отримання інформації від про стан мережі було обрано аналізатор параметрів Smart meter Pilot SPM33 та лічильник електроенергії ACE6000.

Лічильник ACE6000 є сучасним пристроєм для обліку електроенергії, який забезпечує точний та надійний вимірювання споживаної та виробленої електроенергії. Лічильник ACE6000 зазвичай підключається до електричної мережі за допомогою трансформаторів струму. Трансформатори струму встановлюються на кожній з фаз, через які протікає електричний струм. Вони використовуються для перетворення великого значення струму на масштабоване значення, яке може бути зручно виміряне та оброблене лічильником. Такий метод підключення дозволяє лічильнику ACE6000 точно та ефективно вимірювати електроенергію, споживану або вироблену в системі, забезпечуючи надійний контроль та облік електричної активності. Зовнішній вигляд лічильника та трансформаторів струму зображені на рисунку 4.13.

Він призначений для встановлення як у промислових, так і у побутових системах електропостачання. ACE6000 може вимірювати різні параметри, такі як активну та реактивну енергію, напругу, струм, потужність, час роботи тощо.



Рисунок 4.13 – Зовнішній вигляд лічильника ACE6000 та трансформаторів струму.

Основні характеристики лічильника ACE6000 включають велику точність вимірювання, широкий діапазон робочих параметрів, можливість комунікації з іншими пристроями за допомогою різних інтерфейсів (наприклад, RS-485, Modbus RTU), а також можливість збереження та передачі даних.

Аналізатор параметрів Smart meter Pilot SPM33 - це високоточний прилад для моніторингу якості електропостачання та вимірювання параметрів електричної мережі. Зовнішній вигляд аналізатора параметрів мережі зображено на рисунку 4.14. Він призначений для використання як у промислових, так і у побутових умовах і дозволяє вимірювати такі параметри, як напруга, струм, частота, активна та реактивна потужність, споживана енергія тощо. SPM33 також може виявляти аномалії в електричній мережі, такі як перевантаження, перепади напруги, гармоніки та інші несправності, що дозволяє оперативно виявляти та вирішувати проблеми з електропостачанням.

Pilot



Рисунок 4.14 – Зовнішній вигляд аналізатора параметрів Smart meter Pilot SPM33.

Цей аналізатор може бути легко інтегрований в системи керування енергопостачанням для забезпечення надійної та стабільної роботи електричної мережі. Крім того, EnCombi Controller ECcube2 L сумісний із

Smart meter Pilot SPM33, що дозволяє забезпечити зворотний зв'язок з вхідними даними через цифрові входи від джерела живлення. Ця функція автоматично надає контролеру можливість вимкнути фотоелектричну установку, якщо на генераторних установках виникає зворотна потужність, що сприяє стабільній роботі системи.[18] Цей захист особливо корисний при низькому навантаженні генераторних установок або під час підключення до мережі. Такі функції дозволяють забезпечувати стабільну та безперебійну роботу сонячної електричної станції з точкою нульового експорту електроенергії.

Конвертор RS-232/422/485 в оптику MOXA TCF-142 - це пристрій, який призначений для конвертації сигналів з інтерфейсу RS-232/422/485 у відповідний оптичний сигнал і навпаки. Оптичний сигнал передається через волоконно-оптичний кабель, що дозволяє зберігати стабільність сигналу на великій відстані. Зовнішній вигляд кконвертор RS-232/422/485 в оптику MOXA TCF-142 зображено на рисунку 4.15.



Рисунок 4.15 – Зовнішній вигляд конвертора RS-232/422/485 в оптику MOXA TCF-142

У випадку довгих ліній RS-485, де довжина перевищує 1000 метрів, конвертори RS-485 в оптику використовуються для збереження якості

сигналу на великій відстані. Оптичні з'єднання забезпечують більшу стійкість до перешкод та електромагнітних впливів, а також дозволяють працювати на великих відстанях без втрат сигналу. Такі конвертори забезпечують надійну передачу даних і зменшують ймовірність помилок у великих мережах або на віддалених ділянках.

Кабель вита пара, зовнішній, з тросом, марки FTP CAT5e 4P 24AWG PE-M B - це кабель, який використовується для передачі даних у мережах зв'язку. Він має зовнішню оболонку, що забезпечує додатковий захист від впливів навколишнього середовища. Також, він має виту пару, що допомагає зменшити електромагнітні перешкоди та забезпечує кращу якість передачі сигналу.

Оптичний кабель - це кабель, який використовує світлові сигнали для передачі даних. Він складається з оптичних волокон, які дуже тонкі і виготовлені з скла або пластику. Оптичний кабель має велику пропускну здатність і дозволяє передавати дані на великі відстані без втрати сигналу.

Ці кабелі використовуються для об'єднання системи, так як вони забезпечують надійний канал зв'язку між пристроями. Кабель вита пара CAT5e використовується для передачі даних у мережах Ethernet, а оптичний кабель забезпечує швидку та надійну передачу сигналу на великі відстані. Це дозволяє інтегрувати різні пристрої в єдину цілу систему керування, забезпечуючи ефективну взаємодію між ними.

Висновок: У цьому розділі було досліджено споживання електроенергії підприємства, розраховано очікувану виробництво електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst, а також обрано фотоелектричні модулі та інвертор для нашої системи. Крім того було визначено пристрої керування, які забезпечують точку нульового експорту електроенергії.

5 РОЗРОБКА СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

5.1 Розробка схеми підключення та система керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Розглянемо проектування мереж підключення сонячної електростанції (СЕС) до існуючої електромережі та розробку системи керування для оптимізації її роботи. Необхідно розробити такі рішення:

- Розпланування фотоелектричних модулів (ФЕМ) на покрівлях виробничих будівель. Визначення оптимального розташування ФЕМ на покрівлях виробничих будівель для максимальної ефективності сонячного освітлення та мінімізації затінення.

- Розташування стрінг-інверторів. Вибір найбільш зручних місць для встановлення стрінг-інверторів, що перетворюють постійний струм від ФЕМ у змінний, мінімізація відстані кабельних зв'язків та забезпечення їх належного підключення.

- Організація кабельних зв'язків між різними ланками технологічного процесу генерації електроенергії. Планування кабельних маршрутів між різними компонентами системи, забезпечення належного рівня ізоляції та мінімізація енергетичних втрат.

- Встановлення системи керування сонячною електричною станцією роботи станції. Інтеграція системи керування СЕС для постійного контролю параметрами роботи СЕС з точкою нульового експорту електроенергії, виявлення несправностей та аналіз ефективності.

Даним проектом передбачена розробка рішень щодо створення об'єкту будівництва – сонячної електростанції (СЕС) потужністю панелей 1231,2 кВт. Розробка електричної частини проекту базується на підставі технічного завдання роботи.

Робота сонячної електростанції передбачається для забезпечення власних витрат електроенергії з точкою нульового експорту електроенергії. Це означає, що всю вироблену електроенергію від СЕС планується використати для забезпечення власних споживачів без постачання до електричної мережі. Крім того, важливо забезпечити синхронізацію роботи сонячної електростанції та генератором в разі відключення мережі. Це дозволить забезпечити безперебійне живлення споживачів у разі перебоїв у роботі основної електричної мережі.

Розроблена схема генерації та збору електроенергії, яка ґрунтується на обладнанні сонячної електростанції. Також розроблена схема її підключення до існуючої мережі.

Створення схеми є фундаментальним для розробки схеми підключення СЕС та системи керування сонячної електростанції. Це допомагає визначити взаємозв'язки та способи управління й контролю в системі керування СЕС з точкою нульового експорту електроенергії.

Електрична схема підключення СЕС та системи керування з точкою нульового експорту представлена в додатку Б.

На схемі представлено інтеграцію сонячної електростанції (СЕС) та системи керування з нульовим експортом електроенергії в існуючу мережу підприємства. Підключення СЕС передбачено до двох підстанцій 10/0,4 кВ. Фотомодулі, зібрані у стрінги, підключаються до інверторів через кабелі постійного струму, конфігурація може обиратися за допомогою програми PVsyst або відповідних розрахунків. Після перетворення інвертором постійного струму в змінний струм здійснюється видача електроенергії до підстанцій через шафи збору потужності, які підключені до секцій шин споживачів.

Шафи збору потужності оснащені захисною апаратурою, яка захищає інвертори від перевантажень, коротких замикань та перенапруг. Додатково

встановлено обладнання для обліку генерації електроенергії від СЕС, що дозволяє знімати показники виробленої енергії.

Керування виробництвом електроенергії та обмеження генерації у разі надлишкової потужності СЕС відбувається за допомогою пристроїв Smart Logger 3000 А, ЕСcube2L. Взаємодія цих пристроїв забезпечує стабільну роботу СЕС та ефективне її керування.

Для забезпечення керування СЕС, інвертори з'єднані між собою інформаційними кабелями "витою парою" і підключені до реєстраторів даних Smart Logger 3000А, а вони в свою чергу до ЕСcube2L-1 та ЕСcube2L-2. До цих пристроїв також підключені мережеві аналізатори SL7000 та Pilot SPM33 за допомогою "витої пари". Вони допомагають системі керування оцінювати стан мережі та поточне споживання електроенергії на підприємстві, що забезпечує точне та своєчасне регулювання виробництва енергії та підтримання оптимальних умов для функціонування СЕС.

Так як схема електропостачання підприємства передбачається живлення одночасного з двох введів джерел енергії, то в системі керування застосовано два пристрої керування ЕСcube2L-1 та ЕСcube2L-2. Пристрої поєднані між собою через протокол Modbus TCP, що забезпечує повний контроль над генерацією СЕС, споживанням підприємства та обміном даними між пристроями. Система керування також передбачає роботу СЕС та генератора у випадку зникнення зовнішньої мережі живлення та їх синхронізацію. Оскільки встановлені інвертори є мережевими, вони потребують наявності опорної напруги. При зникненні зовнішньої мережі відбувається замикання секційних вимикачів на секціях ЗТП РУ-0,4 кВ та запускаються дизельні генератори. У такому випадку необхідно синхронізувати роботу СЕС та генераторів, щоб уникнути пошкоджень генератора або компонентів СЕС.

Для забезпечення стабільної роботи генератора необхідно підтримувати певний рівень навантаження. Генератор не може працювати вхолосту для створення мережі для СЕС, тому його потрібно завантажувати

не менше ніж на 30%, як рекомендують виробники. Це значення налаштовується за допомогою ЕСcube2L-1 та ЕСcube2L-2. Якщо навантаження перевищує 30% потужності генератора, надлишкову потужність компенсує СЕС. Якщо навантаження менше 30%, інвертори працюють в режимі обмеження, і живлення здійснюється тільки від генератора. Усе це керується системою керування СЕС.

При відновленні зовнішнього електропостачання система контролює зміни стану вимикачів на секціях шин 0,4 кВ, а також генерацію від дизельних генераторів, якщо вони присутні. Після підтвердження стабільного живлення система переходить у нормальний режим роботи. У цьому режимі схема СЕС забезпечує нульовий експорт, тобто надлишкова енергія не передається в зовнішню мережу, а використовується для внутрішніх потреб підприємства. Це дозволяє підприємству максимально ефективно використовувати вироблену енергію, зменшуючи витрати на електроенергію та покращуючи енергоефективність.

У випадку нестачі сонячної енергії система автоматично компенсує дефіцит, отримуючи необхідну енергію із зовнішньої мережі. Така інтеграція забезпечує безперервне електропостачання підприємства, що є критично важливим для підтримки його операцій та зменшення ризиків, пов'язаних з перебоями в енергопостачанні.

5.2 Алгоритм керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

Алгоритм (латинізов. Algorithmi за араб. ім'ям перського математика аль-Хорезмі) — набір інструкцій, які описують порядок дій виконавця, щоб досягти результату розв'язання задачі за скінченну кількість дій; система правил виконання дискретного процесу, яка досягає поставленої мети за скінченний час. Для візуалізації алгоритмів часто використовують блок-схеми [19].

Алгоритм керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії базується на контролі роботи за допомогою пристроїв ЕСcube2L-1 та ЕСcube2L-2. Основна мета алгоритму – забезпечення стабільного постачання електроенергії споживачам та уникнення віддачі надлишкової енергії в зовнішню мережу.

Алгоритм керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії представлена в додатку Б.

Початок роботи алгоритму полягає у визначенні наявності зовнішньої мережі. При наявності зовнішньої мережі СЕС працює в нормальному режимі, не експортує надлишкову енергію в мережу. У разі зникнення зовнішньої мережі, СЕС припиняє свою роботу і очікує відновлення мережі або запуску дизельних генераторів.

У разі зникнення зовнішньої мережі, СЕС припиняє свою роботу і очікує відновлення мережі або підключення дизельного генератора. Якщо мережа відсутня, система переходить до резервного режиму живлення. Для цього відбувається замикання секційних вимикачів на секціях РУ-0,4 кВ у ЗТП№367 та ЗТП№356, після чого запускаються дизельні генератори. Генератори забезпечують живлення двох секцій шин для кожної ЗТП, гарантуючи електропостачання споживачів.

Далі алгоритм визначає відсоток завантаження генератора. Якщо завантаження менше 30%, генератор працює стабільно, забезпечуючи необхідну потужність, а інвертори перебувають у режимі обмеження, працюючи виключно від генератора. Контролери ЕСcube2L-1 та ЕСcube2L-2 постійно моніторять рівень навантаження на генератор і наявність зовнішньої мережі, щоб своєчасно відреагувати на зміни.

Якщо завантаження генератора перевищує 30%, СЕС починає компенсувати решту потужності, зменшуючи навантаження на генератор. Це дозволяє оптимально розподіляти навантаження між генератором і СЕС, забезпечуючи ефективну роботу системи. Контролери ЕСcube2L-1 та

ЕСcube2L-2 продовжують відстежувати рівень навантаження на генератор і наявність зовнішньої мережі, коригуючи роботу інверторів для підтримання стабільної роботи системи.

При відновленні зовнішньої мережі відбувається перемикання живлення споживачів ЗТП№367 та ЗТП№356 до нормального режиму роботи. СЕС повертається до стандартного режиму з точкою нульового експорту електроенергії, забезпечуючи електроенергією внутрішнє споживання без віддачі надлишків у зовнішню мережу.

Таким чином, алгоритм забезпечує стабільну і ефективну роботу сонячної електричної станції, враховуючи наявність або відсутність зовнішньої мережі та відповідно коригуючи роботу системи для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів. Завдяки такій організації роботи, підприємства можуть досягти високої енергетичної безпеки, що є критично важливим для підтримання безперервності бізнес-процесів і уникнення втрат, пов'язаних із перебоями в електропостачанні. Це підвищує надійність та ефективність енергопостачання підприємств, дозволяючи їм зосередитися на основних виробничих завданнях без занепокоєння щодо можливих енергетичних криз.

Висновок: У розділі було розроблено схему системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії. Описано схему підключення та принцип роботи системи керування, а також розроблено детальний алгоритм керування, що забезпечує стабільну і ефективну роботу СЕС. Завдяки впровадженню даної системи підприємства можуть досягти високого рівня енергетичної безпеки, оптимізувати використання ресурсів та зменшити залежність від зовнішньої мережі, що сприяє безперебійності виробничих процесів і зниженню витрат на електроенергію.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі бакалаврської дипломної роботи розглянуті питання з охорони праці, що були враховані під час організації оперативного обслуговування обладнання СЕС. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал електростанції [20,21]:

- фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

- хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

- фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

6.1. Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час оперативного обслуговування електроустановок

Оперативне обслуговування електроустановок може здійснюватися як місцевими оперативними чи оперативно-ремонтними працівниками, за якими закріплена ця електроустановка, так і виїзними, за якими закріплена група електроустановок. Вид оперативного обслуговування, кількість оперативних

працівників в зміну чи на електроустановці визначаються особою, відповідальною за електрогосподарство, за узгодженням з керівництвом підприємства (організації) і зазначається в місцевих інструкціях. До оперативного обслуговування електроустановок допускаються працівники, які знають оперативні схеми, посадові і експлуатаційні інструкції, інструкції з охорони праці, особливості обладнання і пройшли навчання, дублювання та перевірку знань ПБЕ ЕЕС та ПТЕ ЕЕС.

Оперативні працівники, які обслуговують електроустановки одноосібно, та ті старші в зміні чи бригаді оперативні працівники, за якими закріплені електроустановки, повинні мати групу з електробезпеки IV в електроустановках напругою понад 1000 В і III – в електроустановках напругою до 1000 В. Оперативні працівники повинні працювати за графіком, затвердженим особою, відповідальною за електрогосподарство підприємства чи структурного підрозділу.

Оперативні працівники, які заступають на чергування, мають прийняти зміну від попереднього чергового, здати зміну наступному черговому у відповідності з графіком. Припинення чергування без здачі зміни забороняється. У виняткових випадках залишення робочого місця є припустимим з дозволу оперативного працівника вищої посади. Під час приймання зміни оперативний працівник зобов'язаний:

- ознайомитися зі схемою і станом та режимом роботи устаткування на своїй ділянці особистим оглядом в обсязі, встановленому інструкцією;
- одержати від чергового, який здає зміну, інформацію про стан устаткування, за яким необхідно вести ретельний нагляд для запобігання аваріям та неполадкам, а також про стан устаткування, що перебуває в ремонті або резерві;
- перевірити і прийняти інструмент, матеріали, ключі від приміщень, засоби захисту, оперативну документацію та інструкції;
- ознайомитися з усіма записами та розпорядженнями за час, що минув

з його останнього чергування;

- оформити приймання зміни записом у журналі, відомості, а також в оперативній схемі власним підписом та підписом працівника, який її здає;
- доповісти старшому зміни про початок чергування та про неполадки, виявлені під час прийняття зміни.

Забороняється прийняття та здача зміни у випадках, коли на дільниці, яка обслуговується, робочі місця не прибрані, устаткування забруднене. Прийняття зміни, коли устаткування несправне чи є відхилення від нормального режиму його роботи, допускається тільки з дозволу особи, відповідальної за електрогосподарство підприємства, або оперативного працівника вищого рівня, про що робиться запис в оперативному журналі. Оперативні працівники під час свого чергування є відповідальними за правильне обслуговування та безаварійну роботу всього устаткування на закріплених за ними дільницях.

В разі порушення режиму роботи, пошкодженні чи аварії електроустаткування оперативний працівник зобов'язаний негайно вжити заходів з відновлення схеми нормального режиму роботи і повідомити про те, що сталося, безпосередньо старшому у зміні працівнику або особі, відповідальній за електрогосподарство. У випадку неправильних дій оперативних працівників під час ліквідації аварії старший в зміні оперативний працівник зобов'язаний прийняти на себе керівництво і відповідальність за подальший перебіг ліквідації аварії.

Оперативні працівники повинні проводити обходи та огляди устаткування і виробничих приміщень на закріплених за ним дільницях. Огляд електроустановок може виконуватись одноосібно:

- адміністративно-технічним працівником з групою V в електроустановках понад 1000 В і з групою IV — в електроустановках до 1000 В;
- оперативним працівником, який обслуговує цю електроустановку.

Список адміністративно-технічних працівників, яким дозволяється одноосібний огляд, встановлюється особою, відповідальною за електрогосподарство і затверджується керівником підприємства.

Забороняється під час огляду електроустановок виконувати будь-яку роботу. Огляди, виявлення та ліквідація несправностей в електроустановках без місцевих чергових працівників виконуються централізовано виїзними працівниками, що здійснюють нагляд і роботи на об'єкті (чи групі об'єктів). Періодичність цих робіт встановлюється особою, відповідальною за електрогосподарство, залежно від місцевих умов. Результати оглядів фіксуються в оперативному журналі.

Двері приміщень електроустановок (щитів, збірок тощо) мають бути постійно замкнені. Для кожного приміщення має бути не менше двох комплектів ключів, один з яких є запасним. Ключі від приміщень РУ не повинні пасувати до дверей комірок і камер.

Ключі підлягають поверненню щоденно після закінчення роботи.

6.1.2. Електробезпека

Живлення силового обладнання сонячної електростанції та системи освітлення здійснюється від мережі з заземленою нейтраллю напругою 380 х 220 В з частотою 50 Гц. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [22,23]. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам під час виконання робіт:

1) Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати в закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні однофазних споживачів струму при напрузі до 1000 В

використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

6.2 Технічні рішення з виробничої санітарії

6.2.1. Мікроклімат

Умови праці визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, які оточують людину, та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінювання [24]. Категорія робіт, що виконується оперативним персоналом – Па – пов'язано з постійною ходьбою і перенесенням невеликих вантажів масою до 1 кг. За

ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичні умови визначаємо як допустимі (таблиця 4.1). В умовах роботи назовні приміщень допустима температура не повинна перевищувати такі межі: 22,0-25,1 °С; шкідлива: 1 ступеня – 25,2-25,5; 2 ступеня – 25,6-26,3; 3 ступеня – 26,3-27,3; 4 ступеня – 27,4-29,9 °С [21].

Таблиця 6.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості: Па	17-23	75	не > 0,3
Теплий	Середньої важкості: Па	18-27	65 при 26 °С	0,2-0,4

Необхідно, щоб в приміщеннях для оперативного персоналу була постійна циркуляція повітря або встановлений кондиціонер [25]. Влітку при значних вологовтратах і значному часі опромінення інфрачервоною радіацією споживають охолоджену до 15-20°С підсолену (0,5 % HCl) газовану воду. Вживання підсоленої води запобігає згущенню крові, сприяє утриманню її в організмі, покращує самопочуття й підвищує працездатність. Із заходів особистої профілактики після теплових навантажень рекомендуються гідропроцедури.

6.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/мЗ [23]. Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 6.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб. м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати пил якнайчастіше, щодня протирати запилені поверхні обладнання з використанням продувки або пилососа. Потрібно планувати прибирання так, щоб воно приходилось на час коли устаткування вимкнене, зокрема в другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

6.2.3. Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [26], роботи з обслуговування сонячного трекера, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак- ка зорової роботи	Найменший або еквівалент- ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при- системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Висо- кої точн- ості	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

6.2.4. Виробничий шум

Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [27] і наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Устаткування, що є джерелом шуму (вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання), слід використовувати поза межами приміщень.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись

спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об'ємні поглинаючі тіла довільної форми. Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший. Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь. У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

6.2.5. Виробнича вібрація

Джерелами вібрацій на енергетичних об'єктах є технологічне устаткування, електроінструмент і вентилятори. Норми виробничої вібрації на постійних робочих місцях в приміщеннях об'єктів будівництва, визначені за [28], наведено в таблиці 6.5. Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: створення амортизаторів в яких використовують пружини, гуму та інші пружні матеріали; розміщення будівельних конструкцій на масивних фундаментах; встановлення додаткових реактивних опорів.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3* 108	0,45 99	0,22 93	0,2 92	0,2 92	0,2 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с}^* 10''$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Також серед технічних заходів уникнення шкідливого впливу вібрації – створення нових конструкцій інструментів і машин, вібрація яких не може виходити за безпечні для людини межі, а зусилля не повинні перевищувати 15- 20 кг. Усі деталі машин та агрегатів, що рухаються, повинні ретельно врівноважуватися, а для зменшення динамічних сил, які спричинюють вібрації, слід застосовувати змащування та ін.

6.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні» та інші правила пожежної безпеки для промислових підприємств і окремих об'єктів [29, 30]. Визначення пожежо- вибухонебезпечності речовин і матеріалів здійснюється за рекомендаціями [31], а, відповідно, категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок, де вони використовуються, зберігаються тощо, за [32].

Отже, приміщення підприємства, де здійснюється переробки фруктів і овочів, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього

середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В; а також, частково, категорії В, в яких знаходяться та будуть знаходитися (зберігатися) легкозаймисті, горючі і/або важко горючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важко горючі речовини та матеріали (включно горючий пи́л і/або волокна), за умови, що питома пожежна навантага для твердих і рідких легко-займистих, горючих та важко горючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не менше 10 м² кожна може перевищити 180 МДж•м².

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості. До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	самоне-сучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				пли-ти, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 6.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними

вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 6.8 (знаменник).

Таблиця 6.8 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території СЕС встановлено 14 порошкових (ВП) та водо-пінних (ВВП) вогнегасників ємністю 5 та 9 л.

Висновки: Проведено огляд та планування заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта дослідження із врахуванням режимів його функціонування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розглянуто проблему на тему «Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії». Актуальність теми зумовлена зростанням попиту на відновлювані джерела енергії та необхідністю зменшення залежності від централізованої енергосистеми України, особливо в умовах руйнування енергетичної інфраструктури через війну.

У ході дослідження було виконано такі основні завдання:

1. В ході дослідження теоретичних основ розробки системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту були проаналізовані основні аспекти розвитку сонячної енергетики в Україні, визначені види сонячних електростанцій, розглянуті тарифи на електроенергію для промислових споживачів та розроблені функції системи керування.
2. Проведено аналіз існуючих систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту, включаючи принцип їх роботи, дослідження характеристик, огляд існуючих рішень та аналіз критеріїв вибору.
3. Виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту, включаючи засоби сприяння виробництву електроенергії з відновлюваних джерел, аналіз капітальних витрат та порівняння вартості обладнання.
4. В ході розділу вибору обладнання системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії було проведено аналіз споживання електроенергії підприємства, виконаний розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst.

Також було здійснено вибір фотоелектричних модулів, інвертора та пристроїв керування для оптимального функціонування системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

5. У розділі розробка схеми системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії було розроблено схему підключення та систему керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії. Також був розроблений алгоритм керування, що забезпечує ефективне функціонування сонячної електричної станції з точкою нульового експорту електроенергії.

Враховуючи всі аспекти, можна зробити висновок, що впровадження системи керування сонячною електричною станцією (СЕС) з точкою нульового експорту електроенергії є доцільним та необхідним кроком для підвищення енергетичної безпеки та ефективності підприємств. Такі системи дозволяють автоматизувати процеси регулювання виробництва електроенергії, забезпечуючи стабільність електропостачання та економію коштів. Застосування відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергії, сприяє сталому розвитку країни й збереженню довкілля. Це дає підприємствам можливість досягти високого рівня енергетичної безпеки, оптимізувати використання ресурсів та зменшити залежність від зовнішньої електричної мережі, що є вирішальною умовою для забезпечення безперервності бізнес-процесів і уникнення втрат, пов'язаних з перебоями в електропостачанні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сонячна енергетика України [Електронний ресурс]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.
2. Урядовий портал міністерства енергетики України [Електронний ресурс]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/herman-halushchenko-ukrainska-enerhetyka-naroshchuie-potuzhnosti-vde-i-stane-klimatychno-neitralnoiu>.
3. Сонячні електростанції (СЕС) для зменшення власного споживання [Електронний ресурс]. URL: <https://smarteco.biz.ua/solution/self-consumption/>.
4. Сонячна електростанція для підприємства - зменшення власного споживання електроенергії [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoenerhiia.ua/news/sonjachni-elektrostantsii-dlya-biznesu-blog.html>.
5. SmartLogger 3000A. User manual. [Електронний ресурс]. URL: https://www.photomate.eu/wp-content/themes/sitetheme/assets/user-manuals/EN_User-manual_Smartlogger3000_20210630_210x297.pdf
6. Encombi. Easy energy management [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/ecpv/>
7. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-IV#Text>
8. 5 інструментів, які покращать ринок електроенергії в Україні [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoaction.org.ua/5-instrumentiv-ee.html>
9. Документація для Huawei Smart Dongle-WLAN-FE [Електронний ресурс]. URL: <https://infotech.com.ua/ru/goods/3397>
10. Документація для Huawei SmartLogger3000A [Електронний ресурс]. URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/dongle/smartlogger-3000a>

11. Документація для пристрою керування ЕСрv2 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/ecpv2/>
12. Система управління та моніторингу сонячних електростанцій (PV SCADA&PPC) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.tktk.co.jp/en/product/control-system/pvscada/>
13. Птахокомплекс "Авіс" [Електронний ресурс]. URL: <https://news.obozrevatel.com/ukr/politics/19283-avangard-bahmatyuka-vidkriv-na-hmelnichchini-najbilshij-u-evropi-kompleks-z-virobnitstva-yaets.htm>
14. Що таке PVsyst? Комплексний посібник. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.partneresi.com/resources/articles/what-is-pvsyst-comprehensive-guide-2023/>.
15. Сонячні панелі: типи, характеристики, особливості застосування [Електронний ресурс]. URL: <https://130.com.ua/uk/vse-o-solnechnyh-panelyah/>
16. СВ Альтера. Призначення, структура і основні функції SCADA-систем. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.svaltera.ua/guide/glossary/scada.php>.
17. Правильне електроживлення. Документація Мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M2 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.svaltera.ua/guide/glossary/scada.php>.
18. Вимірювачі потужності. Документація аналізатора параметрів Smart meter Pilot SPM33 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/accessories-3/pilot/>.
19. Визначення алгоритм. [Електронний ресурс]. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BC>
20. ДСНіП «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014.
21. ДСТУ-Н Б А 3.2-1: 2007 Настанова щодо визначення небезпечних і

шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv->.

22. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.

23. НПАОП 40.1-1.32-01 (ДНАОП 0.00-1.32-01) Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

24. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Електронний ресурс]. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>.

25. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

26. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. [Електронний ресурс]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

27. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. [Електронний ресурс]. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>.

28. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

29. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. К. : МВС України, 2014. 47 с.

30. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.isu.net.ua>

31. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів.

Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>.

32. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. [Електронний ресурс]. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759.

33. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Електронний ресурс]. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

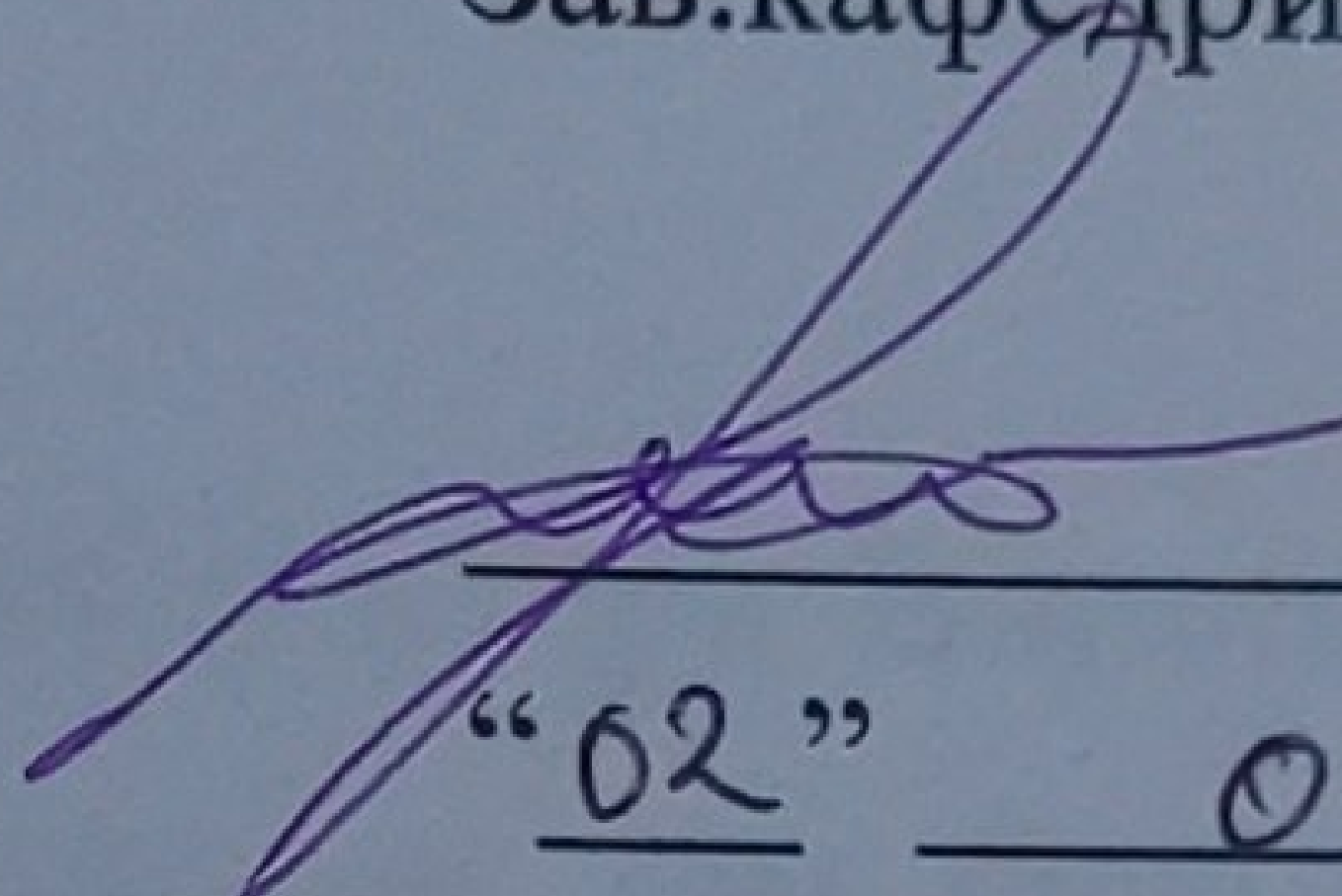
Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц.

 Микола МОШНОРІЗ

«02» 04 2024р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

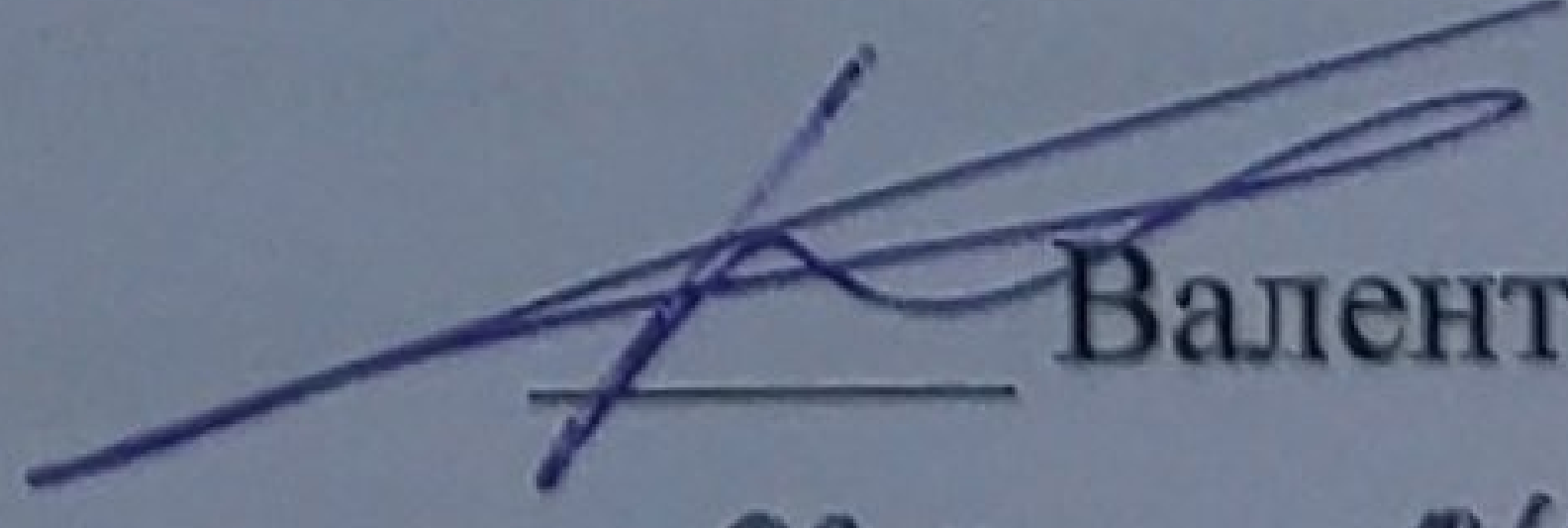
на бакалаврську дипломну роботу

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ
СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

08-24.БДР.005.00.000 ТЗ

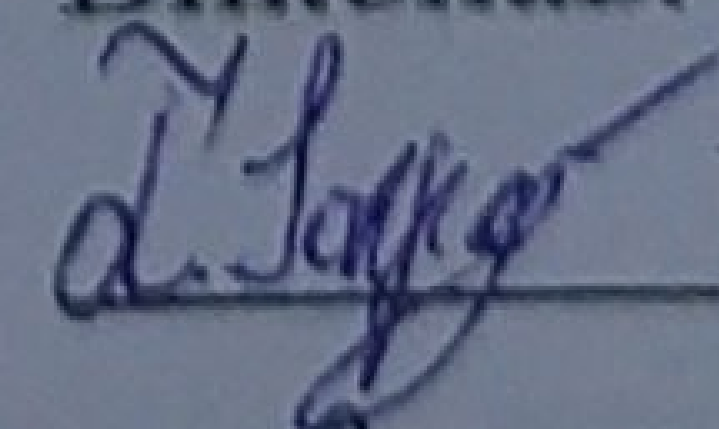
Керівник роботи

К.Т.Н., доц.

 Валентин ГРАБКО

«02» 04 2024 р.

Виконав: ст. гр. 1ЕМ-206

 Богдан ІСКРА

«02» 04 2024 р.

Вінниця ВНТУ 2024

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії».

Скорочене найменування розробки – «Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії».

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських дипломних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії полягає у створенні комплексного інтелектуального рішення для ефективного управління сонячними електростанціями з можливістю використання отриманої енергії виключно для власних потреб без експорту до централізованої електричної мережі. Галузь використання даної розробки охоплює сектори відновлюваної енергетики та сонячної енергії. Вона спрямована на покращення управління та ефективність сонячних електростанцій, забезпечуючи оптимальне використання сонячної енергії для власних потреб споживача.

4 Вимоги до розробки

Основними вимогами до проєкту є забезпечення наступних вимог:

Забезпечення автоматизованого контролю керування сонячною електричною станцією для забезпечення надійності безперебійного функціонування системи. Система повинна мати можливість адаптуватися до

різних умов експлуатації та сумісність з різними системами керування. Крім того, система має бути легкою у використанні та застосовуватися як для промислових так і домашніх сонячних електростанцій. Система має бути надійною та забезпечувати захист від несанкціонованого доступу.

5 Технічні характеристики

Таблиця 5.1 – Паспортні дані контролера

Параметри	Значення
Номінальна напруга, U_n	115/230VAC Phase - Neutral
Номінальна частота, f_n	50/60Hz
Номінальна напруга ізоляції, U_i	250Vac
Номінальний струм, I_n	1 A
Номінальне умовне коротке замикання, I_{cc}	6 kA
Заземлення системи	TN or TT
Розміри HxBxD	400x400x210
Вага	11 кг
Ступінь захисту	IP 66
Комутаційні порти	2x RS485 RTU 4x Ethernet RJ45

6 Комплектація розробки

Система керування сонячною електричною станцією містить фотоелектричні модулі типу Jinko Solar JKM570N-72HL4, мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M2, реєстратор даних Smart Logger 3000a без PLC, пристрій керування EnCombi Controller ECcube2 L, аналізатор параметрів Smart meter Pilot SPM33, конвертори RS-232/422/485 в оптику MOXA TCF-142 та лічильники електроенергії ACE6000.

7 Джерела розробки

1. Вартість електроенергії в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу <https://ua-energy.org/uk/posts/zrostannia-taryfiv-na-elektroenerhiu-boliuche-ta-nemynuche>

2. Власне споживання сонячної електроенергії [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://avenston.com/articles/self-consumption-pv/>
3. Відрновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відрновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

8 Етапи виконання

Основна частина	28.05.2024
Графічна частина	28.05.2024

9 Конструктивне виконання

Пристрій керування виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

10 Технічне обслуговування та ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем і комплексів.

11 Показники технологічності

Система керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії – апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

9 Умови експлуатації

Умови експлуатації для системи керування сонячною електричною станцією в приміщеннях повинні включати стабільні температурні умови, відсутність вологи та пилу, а також наявність необхідних комунікаційних засобів для зв'язку з іншими системами та операторами.

9 Елементна база

Система керування з точкою нульового експорту електроенергії, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

10 Конструктивне виконання

Пристрій керування виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

11 Показники технологічності

Система керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії – апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

12 Живлення системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

Живлення системи керування повинно бути виконано напругою 380 В від силової мережі підприємства.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської кваліфікаційної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Додаток Б
(обов'язковий)

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СОНЯЧНОЮ
ЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ З ТОЧКОЮ НУЛЬОВОГО ЕКСПОРТУ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Об'єкт, предмет, мета, задачі дослідження, актуальність теми

Актуальність теми. Розробка системи керування сонячною електричною станцією (СЕС) з точкою нульового експорту електроенергії є надзвичайно актуальною у світлі переходу до відновлюваних джерел енергії. Зростання глобального попиту на енергію та необхідність зменшення викидів шкідливих речовин робить сонячну енергію привабливим варіантом. В Україні, де є великий потенціал для розвитку сонячної енергетики, особливо актуальною ця тема стала під час енергетичної війни, яка завдала значних збитків енергетичній інфраструктурі. Ці системи дозволять автоматизувати процеси регулювання виробництвом електроенергії відповідно до поточних умов, підвищуючи ефективність та конкурентоспроможність підприємств.

Об'єктом дослідження виступає система керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Предметом дослідження є розробка та впровадження системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Мета дослідження. Метою роботи полягає в розробці та впровадженні системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії для забезпечення стабільності електропостачання підприємств, ефективності та оптимізації використання максимального ресурсу сонячної генерації.

Завдання дослідження. Поставлена мета обумовлена необхідністю вирішити наступні завдання:

- ☐ Провести аналіз теоретичних основ розробки системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії;
- ☐ Здійснити аналіз існуючих систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії;
- ☐ Проведення техніко-економічних обґрунтування впровадженню таких систем керування;
- ☐ Здійснити вибір обладнання для впровадження таких систем;
- ☐ Розробка схеми та впровадження сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

Теоретичні основи розробки системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

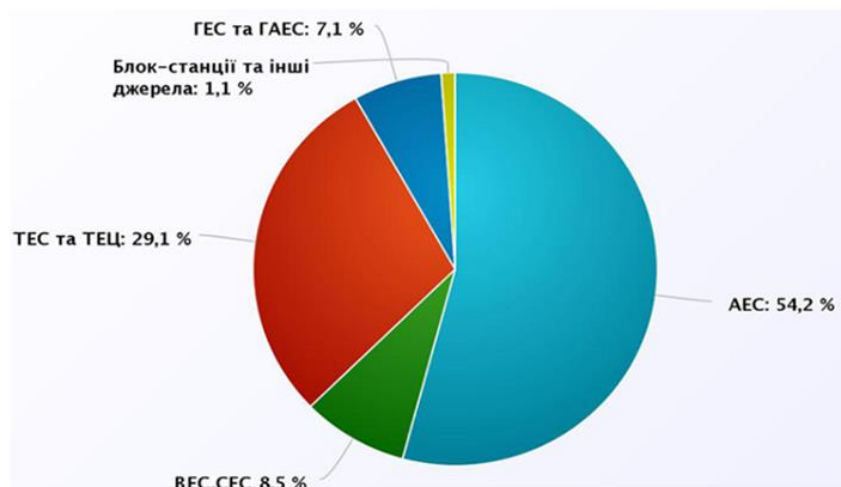


Рисунок 1 – Структура виробництва електроенергії в Україні

Розвиток сонячної енергетики в Україні є одним із ключовим напрямком у виробництві електроенергії. Враховуючи географічне положення та кліматичні умови Україна має перспективу динамічному зростанні в цій галузі, що і відбувається протягом останніх років та демонструється високий темп розвитку.

Розвиток сонячної енергетики в Україні має низку переваг:

- Екологічність.
- Відновлюваність.
- Розвиток робочих місць та розвиток технологій.
- Енергетична безпека.

Основними викликами для розвитку цієї галузі в Україні є:

- Висока первісна вартість будівництва СЕС.
- Нерегулярність процесу виробництва електроенергії.
- Необхідність розвитку технічних засобів керування СЕС

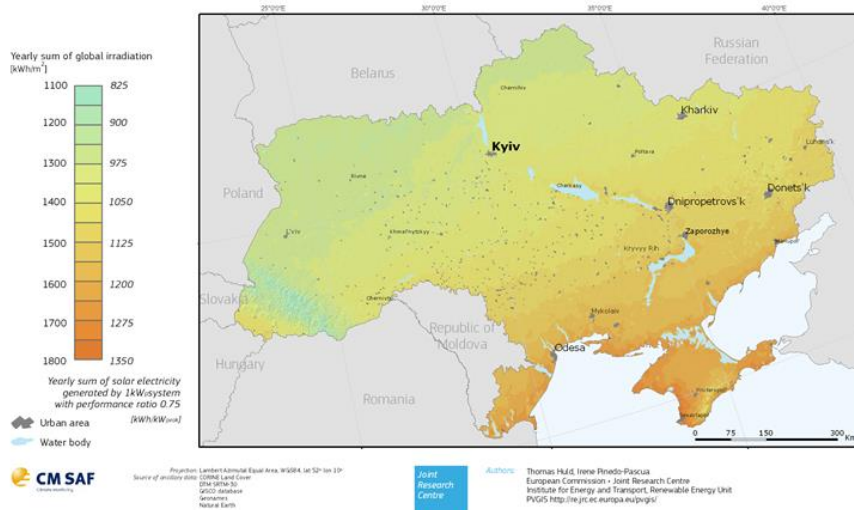


Рисунок 2 – Карта сонячної активності України

Види сонячних електростанцій

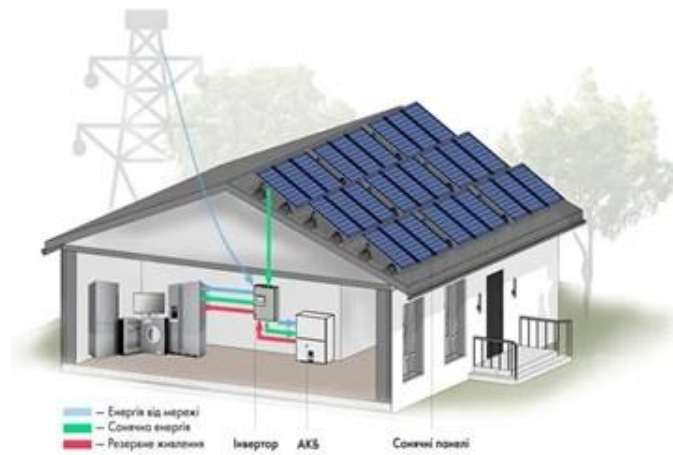


Рисунок 3 - Автономна сонячна електростанція

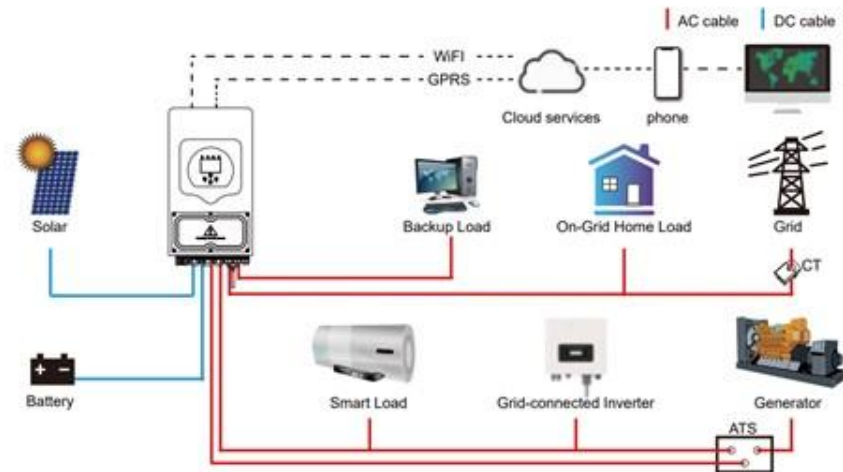


Рисунок 4 - Гібридна сонячна електростанція

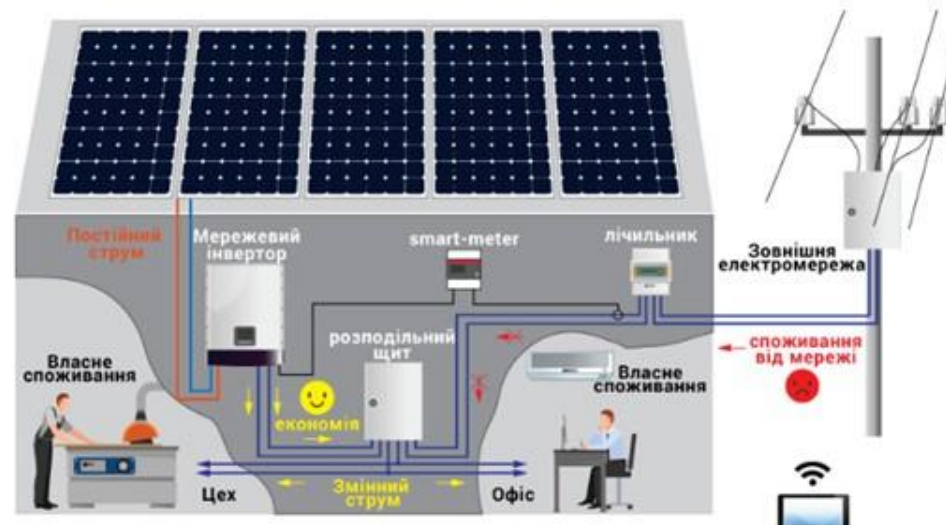


Рисунок 5 - Мережева сонячна електростанція

Аналіз існуючих системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

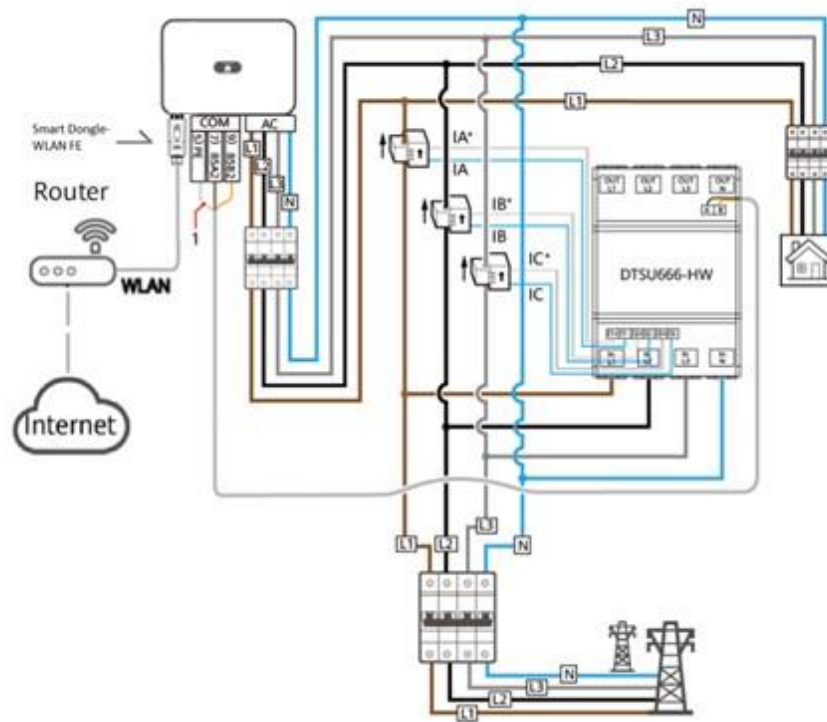
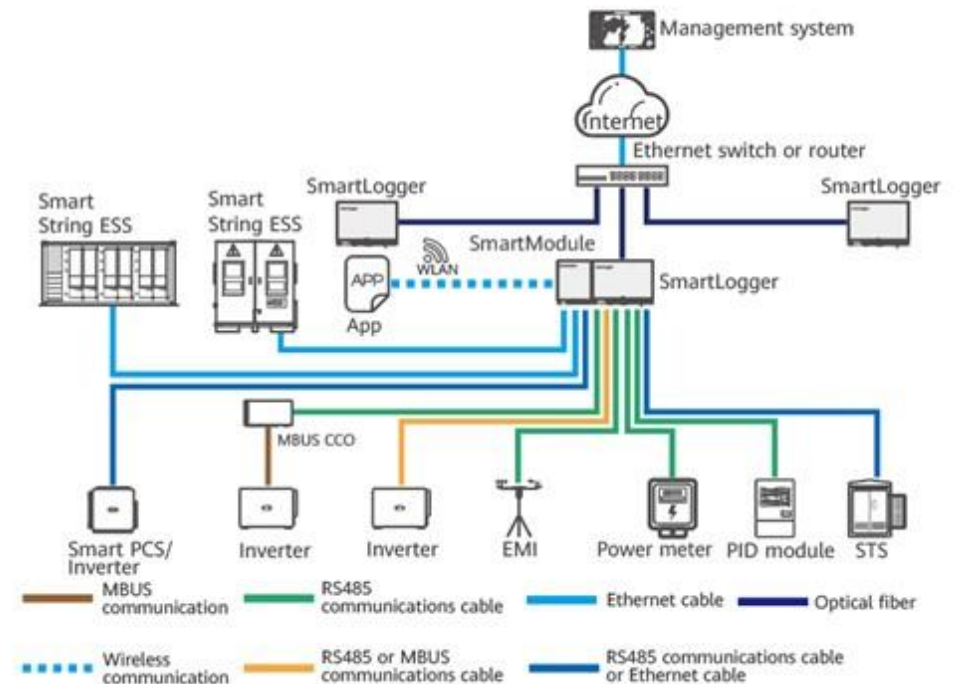


Рисунок 6- Існуюча схема підключення інвертора та системи керування сонячною електричною станцією для домогосподарств.



IL04N10008

Рисунок 7 - Існуюча схема підключення інверторів та системи керування сонячною електричною станцією для промислових об'єктів.

Аналіз існуючих систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

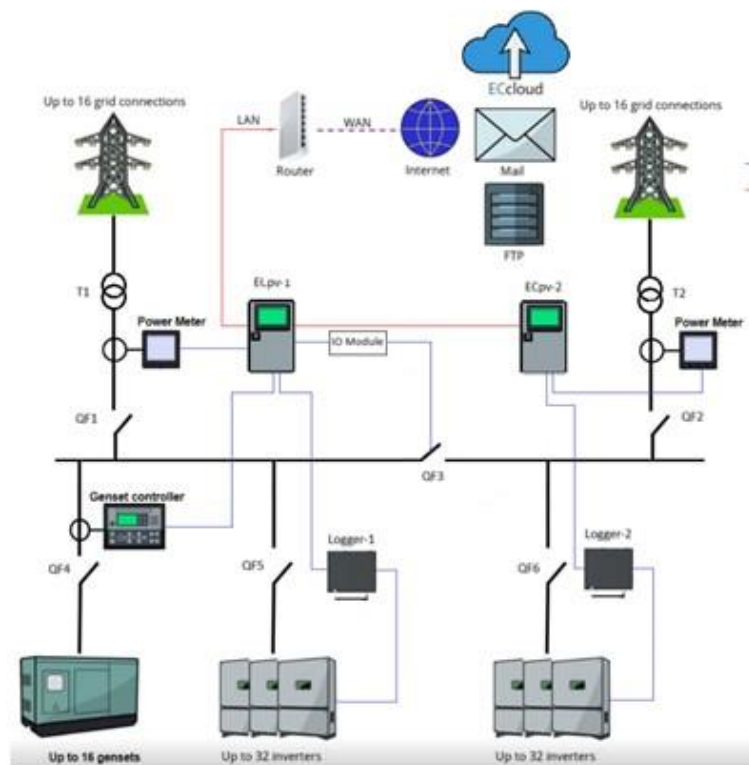


Рисунок 8 - Існуюча схема підключення інверторів та системи керування сонячною електричною станцією для промислових об'єктів у поєднанні роботи з іншими генеруючими установками.

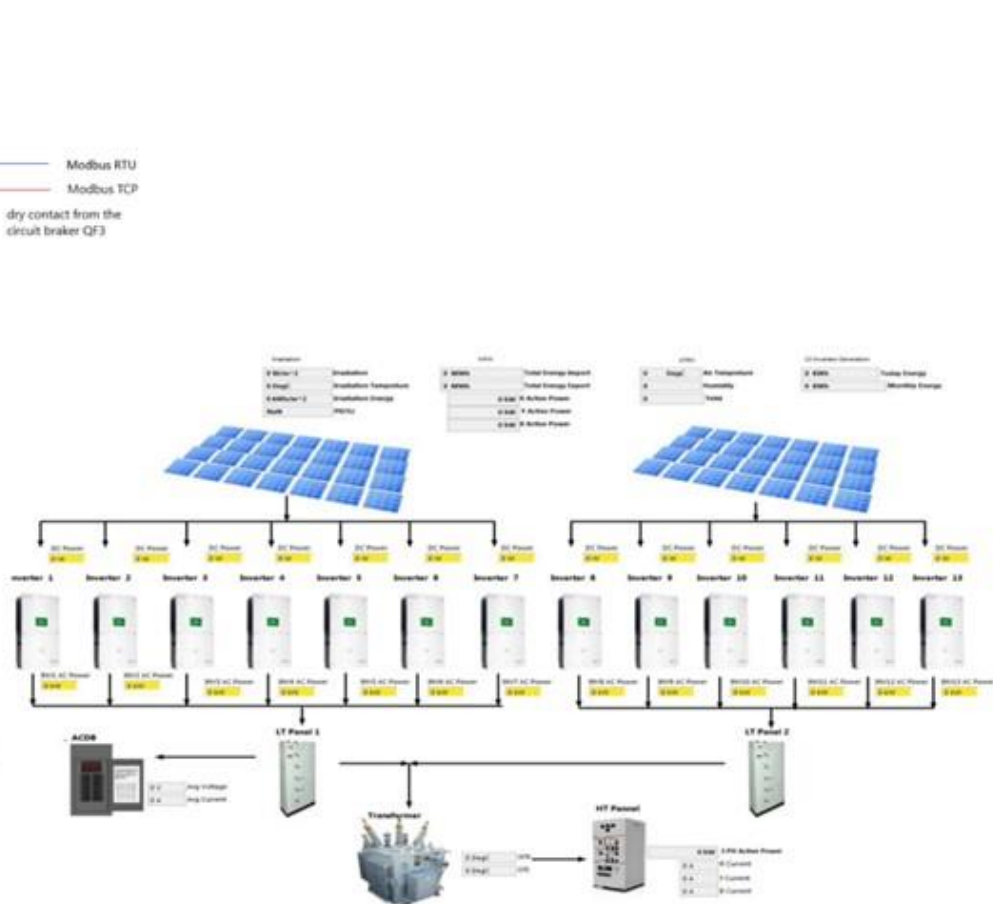


Рисунок 9 - Існуюча схема підключення інверторів та системи керування сонячною електричною станцією для промислових об'єктів за допомогою роботи SCADA-системи

Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування сонячною електричною станцією

Таблиця 3.2 з порівнянням переваг та недоліків "зеленого" тарифу та Net-Billing (Механізм самовиробництва):

Механізм	Переваги	Недоліки
"Зелений" тариф	1) Високий тариф на енергію, вироблену з відновлюваних джерел енергії, що робить інвестиції привабливими. 2) Підтримка держави стимулює розвиток нових проектів у сфері відновлюваної енергетики. 3) Підтримка виробництва екологічно чистої енергії, зменшення викидів парникових газів. 4) Забезпечує стабільний дохід незалежно від коливань ринкових цін на електроенергію.	1) Дія "зеленого" тарифу обмежена до 2030 року. 2) Обмеження встановлення потужності генерації для домогосподарств. 3) Залежність від державних субсидій та політичних рішень щодо "зеленого" тарифу. 4) Бюрократичні труднощі та складний процес отримання дозволів для встановлення та експлуатації об'єктів відновлюваної енергетики.
Механізм самовиробництва	1) Накопичення грошей за згенеровану електроенергію, що можуть бути використані для оплати власного споживання. 2) Стабільний механізм для власного споживання, зменшення витрат на електроенергію. 3) Зменшення витрат на купівлю електроенергії з мережі.	1) Ціна за 1 кВт-год залежить від ринкових цін. 2) Складність прогнозування вигод через змінні ринкові ціни. 3) Виробництво та споживання електроенергії повинні бути в балансі.

Основними засобами сприяння розвитку галузі відновлювальних джерел енергії в Україні є:

- 1) Державна програма та законодавство
- 2) Фінансова підтримка
- 3) Підтримка наукових досліджень та інновацій:



Рисунок 10 - Приклад інтеграції СЕС разом з установкою системи накопичування енергії.

**Порівняння вартості та функцій пристроїв системи керування
сонячною електричною станцією
з точкою нульового експорту електроенергії.**

Параметри	Smart Dongle- WLAN-FE	Smart Logger 3000A	Encombi ECPV2	SCADA SolarPV
Функціональність	Базовий бездротовий моніторинг	Розширений моніторинг та керування	Моніторинг та керування, персоналізація	Комплексна система керування
Підтримка протоколів зв'язку	WLAN	RS485, Ethernet, 4G	RS485, Modbus, Ethernet	Modbus, OPC, DNP3
Підтримка інверторів	До 10	До 80	До 100	Понад 100
Зберігання даних	Обмежене	Розширене	Розширене	Розширене
Віддалений доступ	Так	Так	Так	Так
Інтерфейс користувача	Базовий	Покращений	Деталізований	Персоналізований
Ціна (USD)	50-100	600-800	2500	Від 10000
Переваги	1)Низька вартість. 2)Простота установки. 3)Зручний бездротовий зв'язок.	1)Висока надійність. 2)Розширені аналітичні можливості. 3)Підтримка великої кількості пристроїв. 4) Розширені функції моніторингу	1)Висока гнучкість. 2)Підтримка різних конфігурацій. 3)Можливість персоналізації 4) Сумісність з різними виробниками інверторів та систем.	1)Висока гнучкість у проектуванні. 2)Широка сумісність з різноманітним обладнанням і протоколами. 3)Повний контроль системи керування.
Недоліки	1)Обмежений набір функцій 2)Обмежене керування через віддалений доступ	1) Вища ціна порівняно з smart dongle. 2)Складніше налаштування	1) Висока ціна. 2)Потреба в додатковому налаштуванні.	1)Найвища вартість. 2)Може бути недоступною для проектів з обмеженим бюджетом. 3) Складне налаштування та обслуговування

Аналіз споживання підприємства



Рисунок 11 - Місцезнаходження підприємства.

Підприємства стають все більш зацікавленими у використанні відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна енергія, для забезпечення своїх потреб у електроенергії, що створює необхідність у проведенні аналізу споживання та визначення оптимальних рішень щодо впровадження ФЕС.

Для даного проекту розглядається сучасний комплекс з виробництва яєць і яєчних продуктів. Він розташований у Кам'янець-Подільському районі Хмельницької області, яка знаходиться в західній частині України.

Підприємство складається з різних виробничих одиниць, які потребують значних обсягів електроенергії для свого функціонування та виробничих процесів. Включає складське приміщення для зберігання сировини та готової продукції, цехи забою курей, лінії сортування та упаковки яєць, комбікормовий завод та допоміжні приміщення та обладнання. Всі ці виробничі одиниці потребують значних обсягів електроенергії для свого функціонування та автоматизованих процесів, таких як освітлення, вентиляція, системи управління та інші, що вимагають електричної енергії.

Аналіз споживання підприємства



Рисунок 12 - Навантажувальна діаграма середньодобового споживання електроенергії підприємством.

Години	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
Січень	1452	1372	1296	1244	1218	1287	1340	1385
Лютий	1362	1275	1203	1149	1156	1233	1319	1333
Березень	1553	1480	1394	1333	1327	1362	1473	1453
Квітень	1651	1585	1488	1419	1414	1422	1566	1531
Травень	1724	1664	1562	1494	1462	1455	1585	1538
Червень	1724	1664	1562	1494	1462	1455	1585	1538
Липень	1615	1545	1451	1382	1389	1405	1557	1527
Серпень	1903	1859	1765	1709	1657	1644	1713	1666
Вересень	1653	1587	1471	1391	1340	1315	1484	1421
Жовтень	1289	1190	1118	1045	1171	1256	1474	1494
Листопад	1127	1019	975	943	932	1055	1057	1100
Грудень	1289	1205	1156	1124	1118	1251	1238	1265
Години	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
Січень	1526	1514	1550	1532	1502	1682	1739	1709
Лютий	1485	1478	1530	1548	1528	1625	1693	1709
Березень	1592	1559	1571	1564	1577	1627	1711	1727
Квітень	1656	1623	1614	1598	1629	1672	1760	1771
Травень	1679	1634	1624	1581	1593	1621	1727	1730
Червень	1679	1634	1624	1581	1593	1621	1727	1730
Липень	1644	1618	1609	1606	1647	1698	1777	1791
Серпень	1777	1645	1572	1501	1591	1591	1682	1679
Вересень	1615	1638	1691	1636	1541	1574	1721	1721
Жовтень	1540	1570	1565	1681	1809	1928	1927	1972
Листопад	1305	1276	1358	1380	1349	1449	1490	1516
Грудень	1438	1393	1485	1509	1437	1490	1589	1629
Години	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
Січень	1720	1809	1721	1658	1596	1505	1562	1439
Лютий	1729	1728	1684	1562	1517	1443	1425	1368
Березень	1783	1851	1842	1806	1789	1694	1643	1578
Квітень	1853	1961	1958	1959	1941	1832	1760	1685
Травень	1836	1988	2025	2040	2024	1913	1847	1762
Червень	1836	1988	2025	2040	2024	1913	1847	1762
Липень	1861	1947	1924	1919	1900	1791	1716	1647
Серпень	1739	1946	1946	2145	2228	2086	2054	1950
Вересень	1908	2072	2204	2056	1943	1861	1771	1690
Жовтень	1937	1824	1623	1555	1528	1427	1324	1300
Листопад	1497	1438	1386	1215	1210	1162	1180	1151
Грудень	1583	1495	1488	1324	1307	1260	1286	1258

Таблиця 4.1 – Середньодобове споживання електроенергії підприємством.

Розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst.

Grid system definition, Variant VCS: "# 1MB+ "

Sub-array

Sub-array name and Orientation
 Name: PV Array
 Orient.: Fixed Tilted Plane
 Tilt: 12°
 Azimuth: 45°

Pre-sizing Help
☒ No sizing
 Enter planned power: 0.0 kWp
 ... or available area(modules): 0 m²

Select the PV module
 Available Now: All PV modules
 Jinkosolar: 570 Wp 35V Si-mono 3KM570N-72HL4-V Manufacturer 2022
☐ Use optimizer
 Sizing voltages : Vmpp (60°C) 37.3 V
 Voc (-10°C) 54.9 V

Select the inverter
 Available Now: Output voltage: 400 V Tri 50Hz
 Huawei Technologies: 100 kW 200 - 1000 V TL 50/60Hz SUN2000-100KTL-M2-400Vac Since 2022
 Nb. of inverters: 10 ☐ Operating voltage: 200-1000 V Global Inverter's power: 1000 kWac
☐ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: 1100 V inverter with 10 MPPT Power sharing within this inverter

Design the array
Number of modules and strings
 Mod. in series: 18 ☐ between 6 and 20
 Nb. strings: 120
 Overload loss: 0.0 %
 Pnom ratio: 1.23
 Nb. modules: 2160 Area: 5580 m²

Operating conditions
 Vmpp (60°C) 672 V
 Vmpp (20°C) 763 V
 Voc (-10°C) 988 V
 Plane irradiance: 1000 W/m²
 Impp (STC) 1626 A
 Isc (STC) 1717 A
 Max. operating power (at 988 W/m² and 50°C) 1128 kW
 Array nom. Power (STC) 1231 kWp

List of subarrays

Name	#Mod	#Inv.	#String	#MPPT
PV Array				
Jinkosolar - 3KM570N-72HL4-V	18		120	
Huawei Technologies - SUN2000-100KTL-M2-400Vac		10		1

Global system summary

Nb. of modules	2160
Module area	5580 m²
Nb. of inverters	10
Nominal PV Power	1231 kWp
Nominal AC Power	1000 kWAC
Pnom ratio	1.231

Рисунок 13 - Вибір конфігурації параметрів СЕС та обладнання

PVsyst - це програмний інструмент, для моделювання та аналізу фотоелектричних (сонячних) систем (ФЕС). Вона дозволяє розраховувати потенційну генерацію електричної енергії сонячними панелями в залежності від різних параметрів, таких як географічне положення, кліматичні умови, характеристики модулів та інверторів тощо.

Розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst.

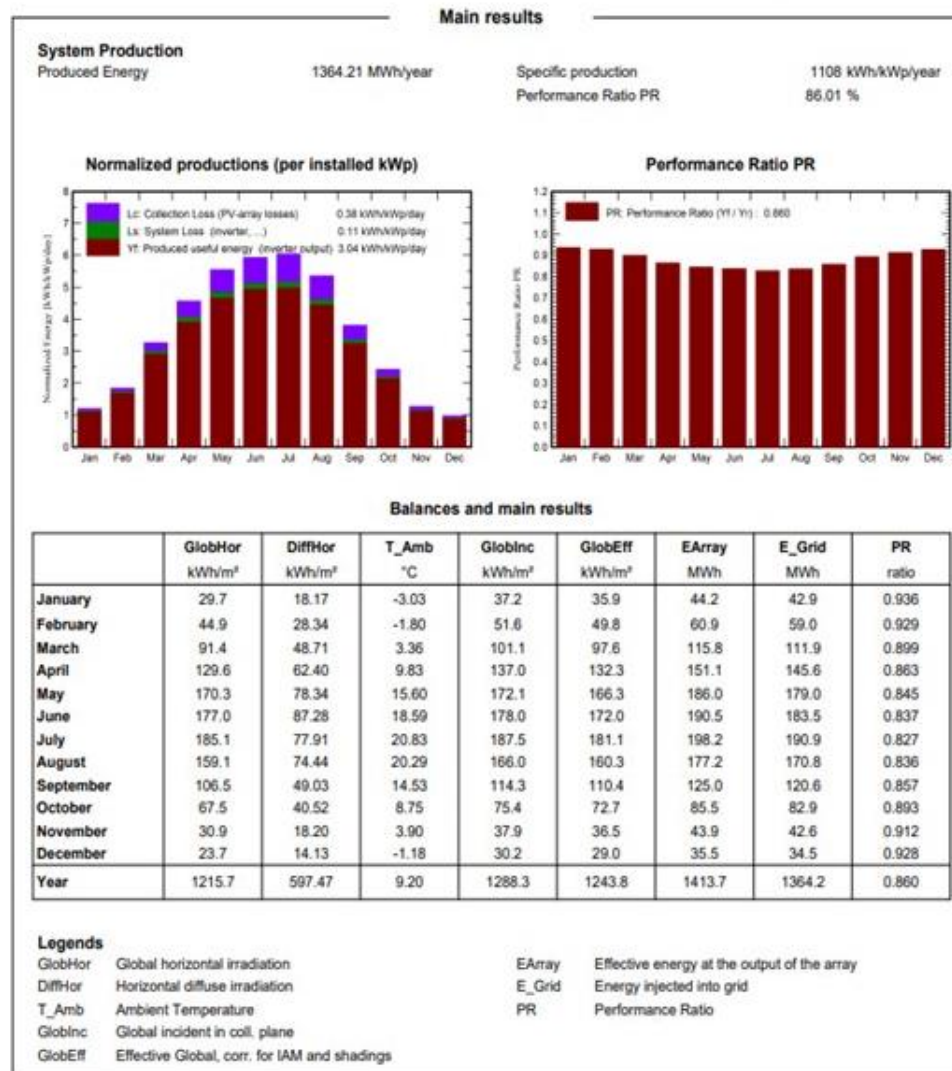


Рисунок 14 – Графіки щомісячної генерації та коефіцієнт продуктивності.

Вибір обладнання сонячної електричної станції з точкою нульового експорту електроенергії



Рисунок 15 –
Мережевий інвертор
Huawei SUN2000-100KTL-M2.



Рисунок 16 –
Фотоелектричні модулі
Jinko Solar JKM570N-
72HL4.



Рисунок 17 –
Реєстратор даних
Smart Logger 3000a без PLC



Рисунок 18 –
Лічильник ACE6000



Рисунок 19 – Пристрій
керування
EnCombi Controller ECcube2

Pilot



Рисунок 20 – Аналізатор
параметрів Smart meter
Pilot SPM33

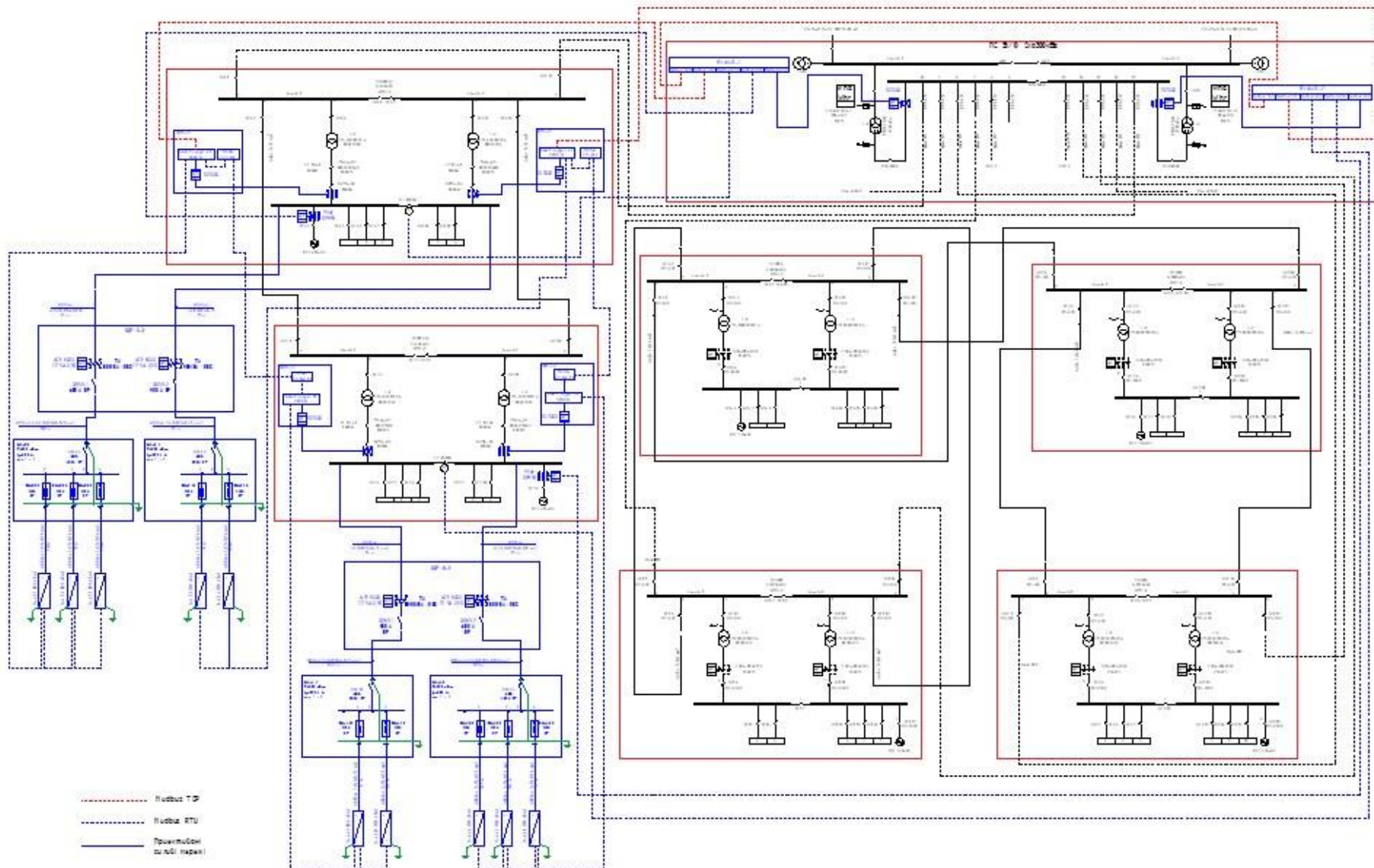


Рисунок 21 – Конвертор
RS-232/422/485 в оптику
MOXA TCF-142

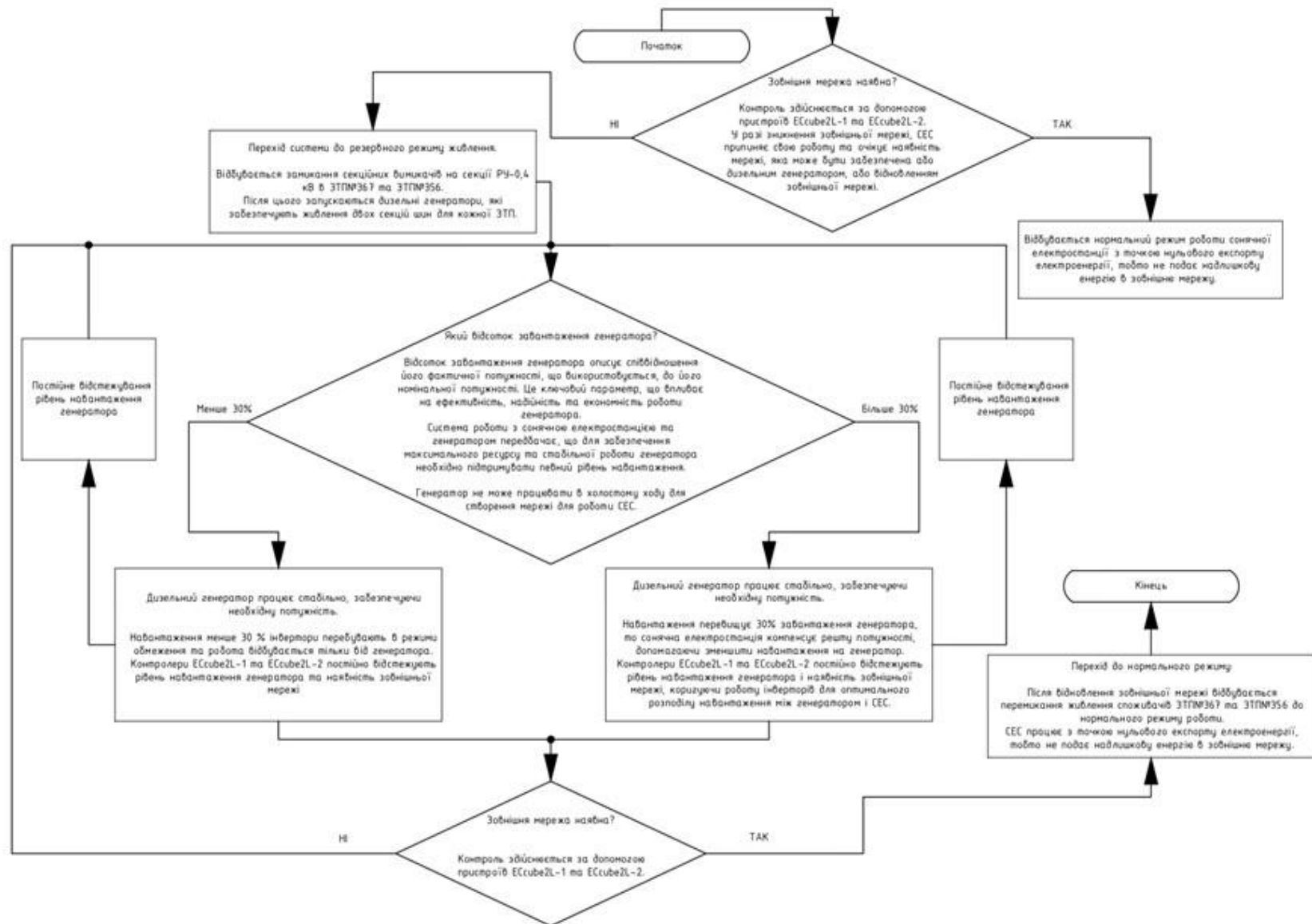


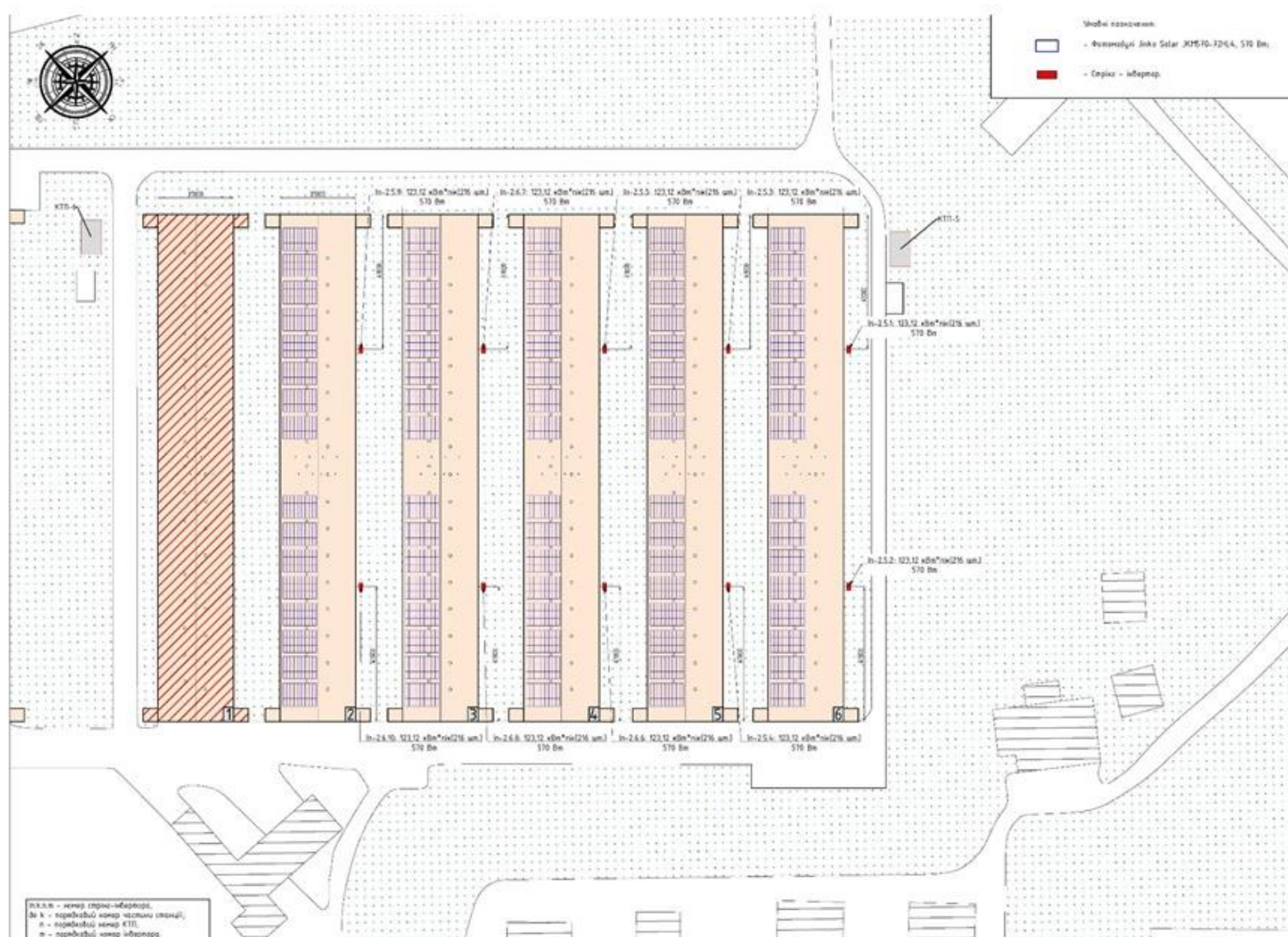
Рисунок 22 –
Трансформатор струму

Розробка схеми системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії



Алгоритм керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії





ВИСНОВКИ

1. В ході дослідження теоретичних основ розробки системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту були проаналізовані основні аспекти розвитку сонячної енергетики в Україні, визначені види сонячних електростанцій, розглянуті тарифи на електроенергію для промислових споживачів та розроблені функції системи керування.

2. Проведено аналіз існуючих систем керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту, включаючи принцип їх роботи, дослідження характеристик, огляд існуючих рішень та аналіз критеріїв вибору.

3. Виконано техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту, включаючи засоби сприяння виробництву електроенергії з відновлюваних джерел, аналіз капітальних витрат та порівняння вартості обладнання.

4. В ході розділу вибору обладнання системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії було проведено аналіз споживання електроенергії підприємства, виконаний розрахунок очікуваної генерації електричної енергії сонячною електричною станцією за допомогою програми PVsyst. Також було здійснено вибір фотоелектричних модулів, інвертора та пристроїв керування для оптимального функціонування системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії.

5. У розділі розробка схеми системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії було розроблено схему підключення та систему керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії. Також був розроблений алгоритм керування, що забезпечує ефективне функціонування сонячної електричної станції з точкою нульового

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)».

Публікації. За тематикою дослідження опубліковано 1 тези доповідей матеріалів конференцій:

Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії / Б.І. Іскра, О.А. Паянок, В.В. Грабко – Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. URL:. – Вінниця : ВНТУ, 2024. – 3 с.

О.А. Паянок¹
В.В. Грабко¹
Б.І. Іскра¹

Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Робота присвячена розробці системи керування сонячною електричною станцією (СЕС) з точкою нульового експорту електроенергії. Запропонована система дозволяє забезпечити оптимальне використання сонячної енергії та запобігти експорту електроенергії в мережу. Завдяки цій системі керування дозволяє ефективно управляти як сонячною електростанцією, так і іншими генеруючими установками у разі зникнення зовнішньої мережі, що є важливим для енергетичної безпеки. Це також підвищує надійність і гнучкість електропостачання, забезпечуючи постійний моніторинг і коректну роботу для безперебійного забезпечення електроенергією.

Ключові слова: система керування, сонячна електростанція, прогнозування навантаження, економія електроенергії, енергетична безпека.

Abstract

This work focuses on the development of a control system for a solar power plant with a zero export point. The proposed system ensures optimal utilization of solar energy and prevents the export of electricity to the grid. Thanks to this control system, it is possible to effectively manage both the solar power plant and other generating facilities in the event of an external grid failure, which is important for energy security. It also increases the reliability and flexibility of the power supply, ensuring constant monitoring and correct operation for uninterrupted power supply.

Keywords: control system, solar power plant, load forecasting, energy saving, energy security.

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕМ, гр. 1ЕМ-206

Науковий керівник: к.т.н., доц. Грабко В.В.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність	95,2 %
Схожість	4,8 %

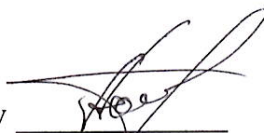
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

☐ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ☐ ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

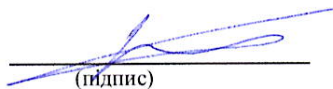
Автор роботи


(підпис)

Іскра Б.І.

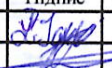
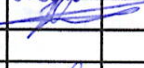
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Грабко В.В.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.005.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Розробка системи керування сонячною електричною станцією з точкою нульового експорту електроенергії	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив:		Іскра Б.І.						
Перевіряв:		Грабко В.В.						
Т. контр.								
Реценз.		Бабенко О.В.				Аркуш	Аркушів	
Норм.кон.		Падяко О.А.				ВНТУ, гр. 1ЕМ-206		
Затверд.		Мошноріз М.М.	